



Уральский
федеральный
университет

имени первого Президента
России Б.Н.Ельцина

Институт естественных наук
и математики

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Учебно-методическое пособие

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ПЕРВОГО ПРЕЗИДЕНТА РОССИИ Б. Н. ЕЛЬЦИНА

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Учебно-методическое пособие

Рекомендовано
методическим советом Уральского федерального университета
в качестве учебно-методического пособия для студентов вуза,
обучающихся по направлениям подготовки
06.03.01 «Биология», 05.03.06 «Экология и природопользование»

Екатеринбург
Издательство Уральского университета
2018

УДК 581.1(07)
ББК 28.57я7
Ф504

А в т о р ы:
И. С. Киселева, М. Г. Малева, Г. Г. Борисова,
Н. В. Чукина, А. С. Тугбаева

П о д о б щ е й р е д а к ц и е й
И. С. Киселевой

Р е ц е н з е н т ы:
кафедра физиологии растений факультета агрономии и биотехнологии
Российского государственного аграрного университета –
МСХА им. К. А. Тимирязева
(заведующий кафедрой доктор биологических наук, профессор И. Г. Тараканов);
В. Н. Хрянин, доктор биологических наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ
(Пензенский государственный университет)

**Физиология растений : учеб.-метод. пособие / [И. С. Киселева,
Ф504 М. Г. Малева, Г. Г. Борисова, Н. В. Чукина, А. С. Тугбаева ; под общ.
ред. И. С. Киселевой] ; М-во образования и науки Рос. Федерации,
Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2018. – 120 с.
ISBN 978-5-7996-2416-3**

Учебно-методическое пособие «Физиология растений» содержит теоретические материалы и описание лабораторных работ, тесты для самопроверки, контрольные задания, глоссарий и список рекомендуемой литературы. В ходе выполнения лабораторных работ студенты научатся планировать и проводить физиологические эксперименты и наблюдения, оценивать физиологическое состояние растений, используя лабораторное оборудование, обрабатывать материалы экспериментальной работы, выполнять необходимые расчеты, заполнять таблицы, строить графики и объяснять результаты экспериментов. Выполнение тестов и контрольных заданий позволит студентам осуществить самоконтроль за освоением дисциплины и подготовиться к экзамену.

Адресовано студентам бакалавриата.

УДК 581.1(07)
ББК 28.57я7

ПРЕДИСЛОВИЕ

Физиология растений – один из классических разделов современной биологии, фундаментальная биологическая дисциплина, изучающая механизмы функционирования растений и методы управления ими в практических целях.

Физиология растений интегрирует данные молекулярной биологии и генетики, биохимии и биофизики, анатомии и морфологии, экологии растений и на их основе создает целостное представление о физиологических функциях растений, их организации и управлении. Эта наука является теоретической основой растениеводства и многих новых направлений биотехнологии, включая клеточные культуры растений, культуры «hairy roots», микроводослей, получение трансгенных растений и т. д.

Пособие соответствует требованиям стандарта ФГОС ВО и учебному плану в части формирования следующих компетенций:

- умение применять принципы структурной и функциональной организации биологических объектов и знание механизмов гомеостатической регуляции; владение основными физиологическими методами анализа и оценки состояния живых систем (ОПК-4);
- способность применять знание принципов клеточной организации биологических объектов, биофизических и биохимических основ, мембранных процессов и молекулярных механизмов жизнедеятельности (ОПК-5);
- способность применять современные экспериментальные методы работы с биологическими объектами в полевых и лабораторных условиях, навыки работы с современной аппаратурой (ОПК-6).

Содержание пособия соответствует содержанию рабочих программ дисциплин «Физиология растений» и «Экологическая физиология растений».

Лабораторные работы по физиологии растений нацелены на обучение студентов некоторым классическим и современным экспериментальным методам исследования жизнедеятельности растений,

постановке и решению исследовательских задач. Студенты научатся оценивать физиологические параметры растений, планировать и проводить физиологические эксперименты и наблюдения, производить необходимые расчеты, обрабатывать и объяснять результаты экспериментов, находить и анализировать информацию о физиологических процессах в растениях.

Выполнение тестовых и контрольных заданий позволит студентам осуществить самоконтроль знаний в процессе изучения курса и при подготовке к коллоквиумам и экзамену.

Пособие должно помочь студентам в освоении физиологии растений, приобретении знаний и практических навыков, в понимании, умении анализировать и интегрировать знания из области физиологии растений.

1. ФИЗИОЛОГИЯ РАСТИТЕЛЬНОЙ КЛЕТКИ

Клетка – элементарная биологическая система. Как все живые объекты, она отделена от окружающей среды полупроницаемой мембраной, называемой «плазмалемма». Клетка осуществляет обмен веществом, энергией и информацией с окружающей средой. Важным элементом, участвующим в этих процессах, является мембрана. Мембраны обладают свойством полупроницаемости или избирательной проницаемости. Это означает, что они могут пропускать одни вещества, а другие – нет. Транспорт веществ и ионов через мембраны может осуществляться пассивно (диффузия, облегченная диффузия) или активно (ионные насосы). Огромную роль в транспорте воды и растворенных в ней веществ и ионов играют каналы. Избирательность транспорта веществ через мембрану считается одним из признаков жизни на клеточном уровне. Мертвая клетка не контролирует поступление ионов и веществ внутрь себя и выведение их наружу.

Избирательность транспорта через полупроницаемую мембрану является причиной возникновения в клетке осмотических явлений. Осмотическими называют явления, происходящие в системе, состоящей из двух растворов, которые разделены полупроницаемой мембраной. В растительной клетке полупроницаемые мембраны представлены плазмалеммой – мембраной, разделяющей цитоплазму и внеклеточную среду, и тонопластом – мембраной, разделяющей цитоплазму и клеточный сок (содержимое вакуоли растительной клетки).

Осмосом называют диффузию воды через полупроницаемую мембрану из раствора с низкой концентрацией растворенного вещества в раствор с высокой концентрацией растворенного вещества. Давление, при котором диффузия жидкости прекращается, называется осмотическим давлением.

Если поместить взрослые клетки растений в гипотонические или гипертонические условия, можно пронаблюдать изменения объема протопласта, однако размеры клетки останутся прежними, поскольку каждая клетка растения окружена клеточной стенкой. Она является ригидной структурой, которая не позволяет поступающей воде разорвать клетку. Если бы клеточная стенка и плазматическая мембрана клетки могли растягиваться, вода входила бы в клетку до тех пор, пока концентрация осмотически активных веществ снаружи и внутри клетки не выровнялась. В реальности клеточная стенка – прочная нерастяжимая структура. В гипотонических условиях входящая в клетку вода давит на клеточную стенку, плотно прижимая к ней плазмалемму. Давление протопласта изнутри на клеточную стенку называется тургорным давлением. Насыщенные водой клетки растений обладают свойством тургесцентности. Тургорное давление препятствует дальнейшему поступлению воды в клетку. Состояние внутреннего напряжения клетки, обусловленное высоким содержанием воды и развивающимся давлением содержимого клетки на ее оболочку, носит название тургора.

Клетки растений обычно находятся в гипотонических условиях, поскольку содержимое растительной клетки богато осмотически активными веществами, большинство которых (органические кислоты, сахара, соли, низкомолекулярные пигменты) входят в состав клеточного сока, заполняющего вакуоль.

Тонопласт по своим свойствам сходен с плазмалеммой. Это мембрана, обладающая избирательной проницаемостью и способностью к активному транспорту ионов и веществ. Осмотически активные вещества поступают в вакуоль с помощью каналов и белков-переносчиков. В большинстве случаев обратно эти вещества не выходят. Таким образом, с помощью избирательного активного транспорта в клетке создается градиент осмолярности: клеточный сок гипертоничен по отношению к цитоплазме, а цитоплазма гипертонична по отношению к окружающей среде. Вода извне поступает в клетку, стремясь уравнять концентрации осмотически активных веществ, давит на клеточную стенку изнутри, обеспечивая тургор.

Тургор – показатель оводненности и состояния водного режима растений. Снижением тургора сопровождаются процессы старения клеток и завядания растений. Именно за счет тургора органы растений находятся в выпрямленном, упругом состоянии.

Лабораторная работа 1

1. Наблюдение за ходом плазмолиза и деплазмолиза

Ц е л ь р а б о т ы – изучить осмотические свойства растительных клеток, пронаблюдать явления плазмолиза и деплазмолиза.

Х о д р а б о т ы. Приготовить препарат верхнего эпидермиса мясистой чешуи луковицы красного репчатого лука. Для работы предпочтительно использовать окрашенные луковицы *Allium cepa*, вакуоли эпидермальных клеток которых содержат пигменты антоцианы.

В случае использования белого лука предварительно снятый эпидермис следует окрасить раствором нейтрального красного в течение 10 мин.

Эпидермис помещают на предметное стекло в каплю воды, накрывают препарат покровным стеклом и рассматривают под микроскопом (окуляр $\times 7$, объектив $\times 40$). Зарисовывают клетки эпидермиса в капле воды. Затем, не снимая препарат со столика микроскопа, наносят рядом с покровным стеклом каплю 1 М раствора сахарозы*. Воду из-под покровного стекла отсасывают полоской фильтровальной бумаги, приложив ее к покровному стеклу с другой стороны. Через некоторое время вода будет заменена раствором и в клетках начнется плазмолиз. Наблюдая за препаратом в микроскоп, можно проследить за ходом плазмолиза в клетках с самых первых его этапов. Зарисовать наблюдаемые явления. Отметить формы плазмолиза: уголковый, вогнутый и выпуклый.

Затем, заменив описанным выше способом раствор сахарозы под покровным стеклом на воду, пронаблюдать обратный плазмолизу процесс – деплазмолиз. Заменить воду в препарате на раствор аммиака, который вызывает гибель клеток. Поместить эпидермис снова в раствор сахарозы. Будет ли происходить плазмолиз в этом случае?

* Способы выражения концентрации веществ см.: Приложение, с. 117.

Сделать выводы по результатам работы.

2. Наблюдение плазмолиза в различных плазмолитиках.

Форма плазмолиза

Протопласт, находящийся в контакте с раствором плазмолитика, изменяет свои свойства под его влиянием. Соли калия вызывают разжижение цитоплазмы, обуславливая легкий отрыв протопласта от клеточной оболочки, что приводит к быстрому образованию выпуклого плазмолиза. Соли кальция, наоборот, вызывают сгущение цитоплазмы, затрудняют отделение плазмалеммы от клеточных стенок, что ведет к образованию судорожного плазмолиза. Роданистые соли вызывают моментальное набухание цитоплазмы, что приводит к очень быстрому образованию колпачкового плазмолиза.

Ц е л ь р а б о т ы – изучить влияние разных ионов на форму и степень плазмолиза.

Х о д р а б о т ы. Поместить кусочки эпидермиса чешуи лукавицы *Allium cepa* на предметное стекло в капли растворов 1 М KNO_3 , 0,8 М CaCl_2 и 1 М KCNS . Накрыть препараты покровным стеклом. Рассмотреть препараты под микроскопом (объектив $\times 40$, окуляр $\times 7$). Зарисовать наблюдаемые в клетках явления. Колпачковый плазмолиз можно наблюдать не только в растворах роданистых солей, но также в растворе KNO_3 после выдерживания в нем клеток не менее 20–30 мин.

Сделать выводы по результатам работы.

3. Наблюдение циторриза в клетках листа *Mnium splendens*

Ц е л ь р а б о т ы – наблюдение за ходом циторриза в клетках мха мниум в растворе сахарозы и при завядании.

Х о д р а б о т ы. Три-четыре листочка мха *Mnium splendens* поместить на предметное стекло в каплю 1 М раствора сахарозы, накрыть покровным стеклом и сразу же рассмотреть под микроскопом (объектив $\times 40$). Отметить характер распределения хлоропластов в клетках. Выдержать препарат в растворе сахарозы в течение 30 мин (следить, чтобы он не подсох!). Через 30 мин вновь рассмотреть его. Отметить изменения в характере распределения хлоропластов. Благодаря тому что гипертонический раствор сахарозы отнимает воду от клеток, объем последних уменьшается, но

плазмолиза не происходит, поскольку целлюлозные оболочки клеток мха непроницаемы для раствора сахарозы. Происходит циторриз: верхние и нижние стенки клеток вдавливаются внутрь, оттесняя цитоплазму вместе с хлоропластами к боковым стенкам клеток. Середина клеток выглядит прозрачной, так как все хлоропласты располагаются вдоль боковых стенок. Контуров клеток, ограниченные боковыми стенками, остаются без изменений.

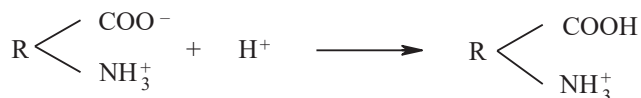
Побег мха оставить подсушиваться. Пронаблюдать, что происходит с клетками при завядании листа.

Сделать рисунки клеток до циторриза и после того, как произошёл циторриз.

Сделать вывод по результатам работы.

4. Определение изоэлектрической точки растительных тканей колориметрическим методом

Аминокислоты и белки цитоплазмы, являясь амфолитами или цвиттер-ионами, диссоциируют в растворах и как кислоты, и как основания. В зависимости от pH среды преобладает диссоциация либо по основному, либо по кислотному типу. Чем выше концентрация протонов в среде, тем сильнее подавлена диссоциация по кислотному типу (1):



Чем выше концентрация гидроксильных ионов в среде, тем более подавлена диссоциация по основному типу (2):



При определенной величине pH диссоциация по уравнениям (1) и (2) подавлена в одинаковой степени, и молекула становится электро нейтральной. Это значение pH называют изоэлектрической точкой (ИЭТ). Каждый амфолит имеет свою величину ИЭТ. У белков она зависит от количества свободных карбоксильных и аминогрупп.

Если амфолит диссоциирует как основание, что наблюдается в среде с рН ниже его ИЭТ, то он будет связывать анионы; когда же амфолит диссоциирует как кислота, что происходит в среде с рН выше его ИЭТ, то он связывает катионы. У кислых красителей, например эозина, окрашены анионы, у основных, например у метиленового синего, – катионы. При окрашивании тканей, содержащих амфолиты, этими красителями и выдерживании их в средах, рН которых ниже ИЭТ, амфолит будет связывать анион и ткань будет окрашена в розовый цвет. В среде, где рН выше ИЭТ амфолита, он, удерживая катион, будет окрашивать ткани в синий цвет. При определении ИЭТ отдельного амфолита наблюдается резкий переход окраски от розового к синему. При установлении ИЭТ в биологических объектах, где имеется смесь амфолитов, переходная окраска будет отмечаться в более или менее широком интервале рН.

Ц е л ь р а б о т ы – установить величину изоэлектрической точки тканей коры и ксилемы в корнях растений.

Х о д р а б о т ы. Приготовить в пробирках по 10 мл буферных растворов со следующими значениями рН: 2,2; 3,0; 3,6; 5,0; 5,4; 6,0; 7,0; 8,0, смешивая в указанных в табл. 1 пропорциях двузамещенный фосфат натрия и лимонную кислоту.

Т а б л и ц а 1

Номер пробирки	рН	0,2 М Na_2HPO_4 , мл	0,1 М лимонная кислота, мл
1	2,2	0,20	9,80
2	3,0	2,05	7,95
3	3,6	3,22	6,78
4	5,0	5,15	4,85
5	5,4	5,57	4,43
6	6,0	6,31	3,69
7	7,0	8,23	1,77
8	8,0	9,72	0,28

С корешка гороха на расстоянии 0,5 см от кончика корня сделать бритвой поперечные срезы (всего 24). Поместить их в фарфоровую чашку в 70 % этиловый спирт на 5 мин. В другую фарфоровую чашку налить 2–3 мл 0,1 % раствора эозина, в третью – столько же 0,02 % метиленовой сини. Срезы из спирта аккуратно перенести в раствор эозина на 10 мин, затем без промывки поместить в раствор метиленовой сини также на 10 мин.

Окрашенные срезы перенести в приготовленные буферные растворы с различным значением pH. В каждую пробирку поместить по три среза. Выдержать срезы в буферных растворах от 1 до 2 ч. По окончании процедуры срезы достать, поместить на предметное стекло и рассмотреть под микроскопом при малом увеличении.

Определить окраску коры и ксилемы на срезах. Для каждой ткани найти значение pH буфера, при котором красный цвет переходит в синий. Эта величина pH численно равна величине ИЭТ. Если при одном значении pH ткань окрашена в красный цвет, а при следующем – в синий, то величину ИЭТ можно принять как среднее из двух показателей pH.

Результаты опытов занести в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Номер пробирки	pH раствора	Цвет		ИЭТ	
		Кора	Ксилема	Кора	Ксилема
1	2,2				
2	3,0				
3	3,6				
4	5,0				
5	5,4				
6	6,0				
7	7,0				
8	8,0				

Сделать выводы по результатам работы. Объяснить, почему ИЭТ коры и ксилемы одного и того же корня неодинаковы.

Лабораторная работа 2

1. Определение относительной вязкости цитоплазмы методом центрифугирования

Ц е л ь р а б о т ы – сравнить относительную вязкость цитоплазмы разновозрастных (молодых и зрелых) клеток листьев элодеи.

Х о д р а б о т ы. Для определения вязкости цитоплазмы взять по одному листочку у верхушки (молодой лист) и в средней части побега элодеи (зрелый лист). Листья поместить вертикально в центрифужные пробирки, наполненные водой. Пробирки уравновесить, вставить в ротор центрифуги. Центрифугирование проводить в течение 30 мин со скоростью 3 тыс. об/мин. После центрифугирования листья быстро (чтобы не изменилась картина смещения хлоропластов) поместить на предметное стекло в каплю воды, накрыть покровным стеклом и рассмотреть под микроскопом. Отметить степень смещения хлоропластов в молодых и зрелых листьях, у верхушки листа и его основания. Помните, что побег элодеи растет верхушкой, а каждый лист – основанием. Сделать вывод об относительной вязкости цитоплазмы в разновозрастных клетках элодеи. Обсудить возможные причины неодинаковой вязкости цитоплазмы в клетках.

2. Определение вязкости цитоплазмы по времени плазмолиза

Промежуток времени от момента погружения клеток в гипертонический раствор до появления выпуклого плазмолиза называют временем плазмолиза. На начальной стадии отдачи клеткой воды образуется вогнутый плазмолиз. Затем наступает выпуклый. Скорость перехода вогнутого плазмолиза в выпуклый зависит от вязкости цитоплазмы. Чем меньше вязкость, тем легче протопласт отстает от клеточной оболочки и тем быстрее вогнутый плазмолиз переходит в выпуклый. Вязкость цитоплазмы зависит от вида растения и физиологического состояния клеток.

Ц е л ь р а б о т ы – определить относительную вязкость цитоплазмы клеток эпидермиса листа у бегонии, традесканции, синего лука и разновозрастных клеток листа элодеи.

Х о д р а б о т ы. Кусочки эпидермиса поместить на предметное стекло в капли 1 М раствора азотнокислого калия и 0,7 М раствора азотнокислого кальция, накрыть покровным стеклом. Во избежание испарения раствора края покровного стекла можно смазать разжиженным вазелином. Отметить время начала опыта. Рассматривать препарат под микроскопом каждые 2 мин, определить время плазмолиза и зарисовать формы плазмолиза. Сравнить по времени плазмолиза вязкость цитоплазмы в клетках разных растений, а также одних и тех же растений, но погруженных в разные растворы, учитывая, что ионы калия разжижают цитоплазму, а ионы кальция повышают ее вязкость. Определить вязкость цитоплазмы по времени плазмолиза у растущих и закончивших рост клеток листа элодеи. Для этого молодой и зрелый листья элодеи поместить на предметное стекло в 1 М раствор сахарозы. Определить время плазмолиза в клетках разного возраста, а также в верхней части листа и у его основания. Зарисовать формы плазмолиза.

Сделать вывод о зависимости вязкости цитоплазмы от вида растения, типа плазмолитика и возраста клетки.

3. Накопление красителей в вакуолях

Клетка обладает сложной прижизненной структурой, обеспечивающей ее свойства и функции. Важнейшая из них – избирательная проницаемость клеточных мембран. В живой клетке цитоплазма не удерживает витальные красители, а пропускает их в вакуоль, в результате чего этот органоид окрашивается в соответствующий цвет. При повреждении или гибели клетки изменяются свойства мембран, цитоплазмы, ее белков и красители могут задерживаться в самой цитоплазме и окрашивать ее. Окрашивание цитоплазмы и ядра витальными красителями – признак повреждения клетки.

Ц е л ь р а б о т ы – изучить особенности накопления витальных красителей в живой и мертвой клетке.

Х о д р а б о т ы. Кусочек эпидермиса с вогнутой поверхности неокрашенного лука поместить в стакан со слабым (1 : 1000)

раствором нейтрального красного на 20 мин. По завершении окрашивания поместить фрагмент эпидермиса на предметное стекло, закрыть покровным стеклом и рассмотреть в капле воды под микроскопом сначала при малом, а потом при среднем увеличении. Отметить окраску цитоплазмы, ядра и вакуоли. Не снимая препарат со столика микроскопа, фильтровальной бумагой отсосать воду из-под покровного стекла и ввести под него каплю 1 М раствора азотнокислого калия. Плазмолиз клеток, накопивших краску в вакуолях, указывает на то, что они живые. Малиновый цвет вакуолей свидетельствует о кислой реакции клеточного сока. Затем под покровное стекло вводят каплю аммиака. Окраска вакуолей мгновенно переходит в желтую. Аммиак – сильный яд, приводящий к гибели клеток. Докажите это, используя тест на плазмолиз. Отметьте, как окрашены вакуоли, цитоплазма и ядро в клетках после действия аммиака.

Зарисуйте: 1) живые клетки лука, накопившие красители в вакуолях; 2) окрашенные клетки лука, плазмоллизированные в азотнокислом калии; 3) окрашенные клетки лука при действии аммиака.

Сделайте выводы об особенностях накопления красителей в живых и мертвых клетках.

4. Накопление витального красителя метиленовый синий в клетках элодеи

Мембраны клеток пропускают не только воду, но и многие вещества, например, витальные красители. Ткани некоторых растений способны накапливать большое количество метиленового синего, вплоть до почти полного извлечения его из наружной среды. Краситель поступает в вакуоли и может связываться там с дубильными веществами, образуя небольшие синие кристаллы.

Ц е л ь р а б о т ы – изучить накопление метиленового синего в клетках элодеи, определить локализацию красителя в клетке.

Х о д р а б о т ы. Заполнить две пробирки раствором метиленового синего. В одну из них поместить побег элодеи, вторую оставить в качестве контроля. Через 2,0 ч сравнить интенсивность окраски раствора, измерив их оптическую плотность на ФЭК или спектрофотометре при длине волны 650–670 нм. Поместить

1–2 интенсивно окрашенных листочка на предметное стекло в каплю 1 М KNO_3 , накрыть покровным стеклом, рассмотреть под микроскопом при увеличении $\times 40$ сразу и через 15–20 мин. Зарисовать клетки. Отмыть препарат в проточной воде в течение 5 мин и снова рассмотреть при увеличении $\times 40$. Зарисовать наблюдаемые под микроскопом клетки. Исчезло ли их окрашивание? Почему?

Ответить на вопросы: 1) в какой части клетки накапливается краситель? 2) как объяснить отсутствие обратной диффузии красителя в наружный раствор? 3) остаются ли клетки живыми после накопления в них метиленового синего?

Сделать выводы по результатам работы.

Лабораторная работа 3

1. Определение осмотического давления клеточного сока плазмолитическим методом (по Де Фризу)

О концентрации растворенных веществ клеточного сока растительной клетки можно судить по величине его осмотического давления. Плазмолитический метод определения осмотического давления заключается в определении изотонической концентрации наружного раствора. Изотоническим раствором считается тот, который не вызывает уголкового плазмолиза клеток. Для определения изотонической концентрации наружного раствора используют серию растворов разной концентрации, а следовательно, осмотического давления. Концентрация изотонического раствора определяется по среднему арифметическому между концентрацией раствора, вызывающего уголкового плазмолиз более чем у 50 % клеток, и концентрацией предыдущего, менее концентрированного. Установив концентрацию изотонического раствора, вычисляют осмотическое давление клеточного сока по уравнению Вант-Гоффа:

$$P = RTC_i,$$

где P – осмотическое давление, МПа (1 МПа – 9,87 атм); R – универсальная газовая постоянная ($0,00831 \text{ кДж} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$); C – концентрация раствора, моль/л; i – изотонический коэффициент.

Ц е л ь р а б о т ы – определить величину осмотического давления клеточного сока эпидермальных клеток листьев разных видов растений.

Х о д р а б о т ы. Из 1 М раствора NaCl приготовить по 5 мл растворов концентрацией от 0,01 до 1,0 моль/л. Пробирки с растворами закрыть пробками. Эпидермис традесканции, лука и бегонии поместить в чашку с дистиллированной водой для удаления вытекающего клеточного сока из поврежденных клеток. Через несколько минут срезы извлечь из воды и поместить на фильтровальную бумагу для удаления избытка воды с поверхности ткани. По два фрагмента эпидермиса каждого вида поместить в пробирки, начиная с самого концентрированного раствора. Срезы должны быть погружены в растворы полностью. Через 20–30 мин рассмотреть срезы в микроскоп, начиная с образцов из самого концентрированного раствора. При работе с каждым последующим раствором тщательно промывать и насухо вытирать палочки, пипетки, стекла.

Результаты опыта записать в табл. 3.

Найти изотоническую концентрацию и вычислить осмотическое давление клеточного сока по формуле Вант-Гоффа. Выразить его в атмосферах.

Сделать вывод о зависимости степени плазмолиза от концентрации наружного раствора.

Т а б л и ц а 3

Концентрация NaCl, моль/л	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,01
Изотонический коэффициент (<i>i</i>)	1,62	1,64	1,66	1,68	1,70	1,73	1,75	1,78	1,83	1,93
Число плазмолизированных клеток в поле зрения микроскопа										
Рисунок клетки										

2. Определение сосущей силы клеток по изменению концентрации растворов

Сила, с которой клетка поглощает воду, называется сосущей силой клетки. В отличие от любого раствора, сосущая сила которого численно равна его осмотическому давлению, сосущая сила растительной клетки (S) равна разности между осмотическим давлением клеточного сока (P) и тургорным давлением (T):

$$S = P - T.$$

Величина, численно равная сосущей силе клеток, но с противоположным знаком, называется водным потенциалом. При погружении клетки в раствор ее водообмен определяется соотношением сосущей силы раствора и клетки. Вода перемещается в сторону системы с большей сосущей силой или меньшим водным потенциалом. Если погрузить растительную ткань в раствор, сосущая сила которого больше сосущей силы клеток, то раствор будет отсасывать воду из клеток, вследствие чего его концентрация уменьшится. И наоборот, если сосущая сила клеток больше сосущей силы раствора, то клетки поглощают воду из раствора, который при этом становится более концентрированным. При равенстве сосущих сил клеток и раствора концентрация раствора остается без изменений.

Ц е л ь р а б о т ы – определить величину сосущей силы клеток листа.

Х о д р а б о т ы. В пяти пробирках приготовить по 10 мл 0,5 М; 0,4 М; 0,3 М; 0,2 М и 0,1 М растворов сахарозы путем разбавления 1 М раствора водой. В пять маленьких пробирок внести по 0,5 мл каждого из приготовленных растворов, все пробирки подписать и закрыть пробками. Из листьев пробочным сверлом вырезать 10 дисков. В каждую маленькую пробирку поместить по два диска. Выдержать ткани растений в растворах в течение 40 мин. Для получения корректного результата через каждые 10 мин следует встряхивать пробирки. По истечении времени эксперимента диски извлечь из пробирок стеклянной палочкой или препаровальной иглой. В больших и маленьких пробирках определить концентрацию растворов рефрактометрически или методом струек (по В. С. Шардакову).

Метод струек. Растворы в маленьких пробирках окрасить метиленовым синим красителем – внести один маленький кристалл сухого красителя на кончике препаровальной иглы. Содержимое встряхнуть, добиваясь равномерной окраски раствора. Стеклопипеткой (с оттянутым капиллярным носиком) набрать подкрашенный опытный раствор из маленьких пробирок. Кончик пипетки опустить в большую пробирку, в раствор соответствующей концентрации, чтобы уровень жидкости в пастеровской пипетке превышал уровень раствора в пробирке. Медленно выпустить жидкость из пипетки в исходный раствор, отмечая направление движения окрашенной струйки. Если концентрация опытного раствора увеличилась в сравнении с исходной, то струйка пойдет вниз, если уменьшилась – то вверх. При равенстве концентраций струйка равномерно распределяется в пробирке с исходным раствором.

Определить раствор, концентрация которого не изменилась после погружения в него растительной ткани, а также рассчитать осмотическое давление, соответствующее этой концентрации. Результаты опыта записать в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Концентрация сахарозы, моль/л	Давление (P) раствора, МПа	Направление движения струек	Соотношение между P раствора и S клеток
0,1	0,263		
0,2	0,537		
0,3	0,821		
0,4	1,125		
0,5	1,449		

Сделать выводы по результатам работы.

Тестовые задания

1. Ученый, который впервые в 1665 г. применил термин «клетка»:
 - а) А. Ван Левенгук;
 - б) Т. Шванн;
 - в) М. Я. Шлейден;
 - г) Р. Гук.
2. Основным структурным компонентом клеточной стенки:
 - а) фосфолипиды;
 - б) белки;
 - в) целлюлоза;
 - г) гемицеллюлоза.
3. В образовании клеточной стенки принимают участие:
 - а) лизосомы;
 - б) ядро;
 - в) комплекс Гольджи;
 - г) митохондрии.
4. Компонент белковой природы, входящий в состав матрикса клеточной стенки:
 - а) пектин;
 - б) лигнин;
 - в) суберин;
 - г) экстенсин.
5. Совокупность протопластных пространств всех клеток, соединенных плазмодесмами, называется:
 - а) симпластом;
 - б) апопластом.
6. Процесс впячивания поверхности мембраны, благодаря которому происходит «заглатывание» капелек жидкости с растворенными веществами, называется:
 - а) облегченной диффузией;
 - б) пиноцитозом;
 - в) активным транспортом;
 - г) пассивным транспортом.
7. Пассивный транспорт веществ через мембраны осуществляется:
 - а) с затратами энергии АТФ и НАДФ;

- б) по электрохимическому градиенту;
 - в) с помощью протонной АТФ-азы.
8. Для мембран не характерна:
- а) динамичность структуры;
 - б) симметрия поверхности;
 - в) гетерогенность химического строения;
 - г) избирательная проницаемость;
 - д) многофункциональность.
9. Плазмалемма:
- а) ограничивает цитоплазму от вакуоли;
 - б) ограничивает кариоплазму от цитоплазмы;
 - в) имеет бóльшую проницаемость, чем тонопласт;
 - г) имеет меньшую проницаемость, чем тонопласт;
 - д) непроницаема для воды.
10. Поверхностный рост плазмалеммы обеспечивается:
- а) пузырьками аппарата Гольджи;
 - б) митохондриями;
 - в) ЭПР;
 - г) рибосомами;
 - д) пероксисомами.
11. Пассивный облегченный транспорт веществ через мембраны осуществляется:
- а) с затратами энергии АТФ и НАДФ;
 - б) через гидрофильные поры;
 - в) с помощью специальных белковых переносчиков или каналов;
 - г) с помощью протонной АТФ-азы.
12. Транспорт двух веществ в одном направлении называется:
- а) унипортом;
 - б) симпортом;
 - в) антипортом.
13. Рибосомы состоят:
- а) из одной субъединицы;
 - б) двух субъединиц;
 - в) трех субъединиц;
 - г) четырех субъединиц;

14. Функция рибосом:

- а) синтез белка;
- б) внутриклеточное пищеварение;
- в) окислительное фосфорилирование;
- г) синтез углеводов.

15. Функция митохондрий:

- а) синтез углеводов;
- б) окисление глюкозы;
- в) энергетическая;
- г) внутриклеточное пищеварение.

16. Внутриклеточные структуры, не имеющие мембран, – это:

- а) митохондрии;
- б) хлоропласты;
- в) рибосомы;
- г) лейкопласты.

17. Органоиды клетки, осуществляющие фотосинтез:

- а) лейкопласты;
- б) митохондрии;
- в) рибосомы;
- г) хлоропласты.

18. Митохондрии называют энергетическими станциями клетки, потому что они:

- а) осуществляют синтез белка;
- б) осуществляют синтез АТФ;
- в) расщепляют АТФ;
- г) синтезируют органические вещества.

19. Аппарат Гольджи осуществляет:

- а) синтез и накопление каротиноидов;
- б) образование лизосом, накопление и транспортировку секретов клетки;
- в) синтез белка;
- г) фотосинтез.

20. Основная функция ядрышка:

- а) синтез рРНК и сборка субъединиц рибосом;
- б) синтез и накопление АТФ;

- в) синтез белка;
- г) синтез углеводов.

21. При помещении клетки в раствор роданида калия возникает колпачковый плазмолиз. С какими свойствами плазмалеммы и тонопласта это связано:

- а) плазмалемма менее проницаема для ионов калия, чем тонопласт;
- б) плазмалемма более проницаема для ионов калия, чем тонопласт;
- в) плазмалемма имеет менее жесткую структуру, чем тонопласт;
- г) плазмалемма и тонопласт одинаково проницаемы для ионов калия?

22. Сосущая сила клетки равна нулю:

- а) в состоянии плазмолиза;
- б) в состоянии циторриза;
- в) при насыщении клетки водой (состояние тургора);
- г) при потере воды клеткой.

23. Уменьшению вязкости цитоплазмы способствует увеличение в клетке концентрации:

- а) ионов калия;
- б) ионов кальция;
- в) роданистых солей;
- г) сахарозы.

24. В вакуоль поступают ионы:

- а) активно используемые в метаболизме;
- б) присутствующие в низких концентрациях;
- в) насыщающие цитоплазму;
- г) не участвующие в метаболизме.

25. Наименьшим осмотическим потенциалом обладают:

- а) галофиты;
- б) гидрофиты;
- в) суккуленты;
- г) мезофиты влажных лугов;
- д) мезофиты сухих лугов.

26. Потенциал давления клетки при плазмолизе:

- а) больше 0;
- б) меньше 0;
- в) равен 0;
- г) максимален;
- д) минимален.

27. После пребывания растительной ткани в 0,6 М растворе сахарозы его концентрация стала 0,4 М, следовательно, водный потенциал клеток:

- а) больше осмотического потенциала раствора;
- б) меньше осмотического потенциала раствора;
- в) равен осмотическому потенциалу раствора.

28. Облегченная диффузия происходит:

- а) с затратой метаболической энергии;
- б) с помощью переносчиков;
- в) без участия переносчиков;
- г) против градиента электрохимического потенциала.

29. Мелкие липофильные молекулы поступают в клетку путем:

- а) простой диффузии;
- б) облегченной диффузии;
- в) активного транспорта.

30. Вода через мембрану клетки транспортируется с помощью:

- а) АТФ-аз;
- б) ионных каналов;
- в) белков-аквапоринов;
- г) пермеаз.

2. УСТОЙЧИВОСТЬ РАСТИТЕЛЬНЫХ КЛЕТОК И ТКАНЕЙ К НЕБЛАГОПРИЯТНЫМ ФАКТОРАМ СРЕДЫ

Для высших растений характерны сложные пути адаптации к неблагоприятным факторам среды, что выражается в оптимизации и перестройке протекающих в них физиологических процессов. Эти приспособительные реакции основаны на способности растений к саморегуляции, т. е. к изменению обмена веществ и энергии. Растительный организм находится в непрерывном взаимодействии с факторами окружающей среды на протяжении всего онтогенеза. На каждой стадии развития растений их способность приспосабливаться к неблагоприятным условиям (низкая температура, засуха, засоление почвы и т. д.) выражена в разной степени.

Наиболее распространенными неблагоприятными для растений факторами являются засуха, высокие и низкие температуры (экстремальные для растений), избыток воды и солей в почве, недостаток кислорода (гипоксия), очень высокая или низкая освещенность, присутствие в атмосфере вредных веществ, ультрафиолетовая радиация, ионы тяжелых металлов и т. д.

При краткосрочных стрессовых воздействиях появляются акклимации – ненаследуемые изменения, чаще всего носящие физиолого-биохимический характер. При длительно действующих стрессорах растения приобретают адаптации – наследуемые изменения, возникающие в ходе естественного отбора.

Лабораторная работа 4

1. Устойчивость клеток растений к холоду

При замерзании растительных тканей в межклетниках образуются кристаллы льда, которые оттягивают воду из цитоплазмы. Если клетка недостаточно морозоустойчива, то она, не выдержав

обезвоживания, а также механического давления кристаллов льда на протопласт, повреждается. О степени повреждения клетки можно судить по ее способности удерживать клеточный сок. Устойчивость клетки может быть повышена защитными веществами – криопротекторами, которые связывают свободную воду и препятствуют обезвоживанию и образованию кристаллов льда в тканях. Среди криопротекторов важная роль принадлежит растворимым сахарам.

Ц е л ь р а б о т ы – изучить защитное действие сахарозы при замораживании растительных тканей.

Х о д р а б о т ы. Из очищенного корнеплода красной свеклы приготовить 12–15 одинаковых по размеру, не очень тонких срезов (толщина около 1 мм). Поместить срезы в фарфоровую чашку и тщательно промыть водой для удаления сока, вытекшего из поврежденных клеток. Перенести по 4–5 срезов в три пробирки. В первую пробирку налить 2 мл воды, во вторую – 2 мл 0,5 М раствора сахарозы, в третью – 2 мл 1 М раствора сахарозы.

Приготовить холодную баню: к трем частям снега или измельченного льда добавить одну часть поваренной соли и тщательно перемешать. Погрузить все пробирки в охлаждающую смесь на 15–20 мин, после чего поставить их в стакан с водой комнатной температуры. После оттаивания отметить окраску жидкости в пробирках и окраску срезов. Проверить жизнеспособность клеток, подвергнув их плазмолизу в 8 % растворе NaCl. Посчитать число плазмолизированных клеток в поле зрения микроскопа.

Результаты записать в табл. 5.

Т а б л и ц а 5

Вариант опыта	Окраска наружного раствора	Окраска среза	Количество плазмолизированных клеток
Вода			
Сахароза 0,5 М			
Сахароза 1 М			

Сделать выводы, объяснить различия между вариантами и механизм криопротекторного действия сахарозы.

2. Влияние высокой температуры на проницаемость мембран клеток

При нагревании растений до температуры выше оптимальной в клетках нарушается обмен веществ: происходит разобщение дыхания и фосфорилирования, прекращается синтез белков, усиливается их распад, накапливаются токсичные вещества. При высоких температурах резко повышается проницаемость цитоплазматических мембран, при температурах выше 60 °С начинается коагуляция белков, а затем – гибель клеток.

Ц е л ь р а б о т ы – изучить влияние высоких положительных температур на растительные ткани, определить летальную температуру для клеток корнеплода свеклы.

Х о д р а б о т ы. Вырезать из очищенного корнеплода красной свеклы семь прямоугольных кусочков одинакового размера, например, 3 × 10 × 40 мм, и поместить их в фарфоровую чашку. Ткани корнеплода многократно промыть водопроводной водой до полного обесцвечивания промывных вод и оставить в чашке под слоем воды.

Нагреть в стакане воду до 75 °С. Захватить пинцетом один кусочек свеклы и погрузить его ровно на 1 мин в нагретую воду, а затем перенести в пробирку с 10 мл холодной дистиллированной воды. На пробирке написать температуру, при которой выдерживали ткань корнеплода.

Далее охладить воду в стакане до 70 °С (добавлением холодной воды), поместить в нее второй кусочек ткани корнеплода на 1 мин, затем перенести его в пробирку с водой. Подписать пробирку. Последовательно охлаждать воду в стакане до 65, 60, 55, 50 и 45 °С и последовательно выдерживать в нем кусочки ткани корнеплода свеклы, затем переносить в пробирки с холодной водой.

Образцы в пробирках выдержать в течение 15 мин, постоянно встряхивая. Определить интенсивность окраски жидкости в пробирках на ФЭК, зеленый светофильтр (длина волны пропускаемого света 540 нм). Раствор сравнения – дистиллированная вода.

Результаты измерений занести в табл. 6.

Т а б л и ц а 6

Номер пробирки	Температура, °С	Оптическая плотность
1	75	
2	70	
3	65	
4	60	
5	55	
6	50	
7	45	

Построить график зависимости выделения антоцианов из клеток от температуры, откладывая по оси абсцисс температуру, а по оси ординат – оптическую плотность растворов в пробирках. Определить летальную температуру (по точке перегиба на кривой) для клеток паренхимы корнеплода свеклы.

Сделать вывод по результатам работы.

3. Определение жаростойкости растений (по Ф. Ф. Мацкову)

Если подвергнуть лист действию высокой температуры, а затем погрузить в слабый раствор соляной кислоты, то поврежденные и мертвые клетки побуреют вследствие свободного проникновения в них кислоты, которая вызывает превращение хлорофилла в феофитин, тогда как неповрежденные участки листа останутся зелеными. У растений с кислым клеточным соком феофитинизация может произойти и без обработки соляной кислотой, так как при нарушении проницаемости тонопласта органические кислоты проникают из клеточного сока не только в цитоплазму, но и в пластиды и вытесняют магний из молекул хлорофилла. Чем больше повреждены ткани, тем больше образуется бурых пятен на листьях.

Ц е л ь р а б о т ы – определить степень жаростойкости листьев разных видов растений.

Х о д р а б о т ы. Нагреть водяную баню до 40 °С, погрузить в нее по пять листьев одного вида комнатных растений и выдержать их в воде в течение 30 мин, поддерживая температуру на уровне 40 °С. Затем взять первую пробу – вынуть по одному листу каждого вида растений и поместить их в чашку Петри с холодной водой. Довести температуру в водяной бане последовательно до 50, 60, 70, 80 °С, отбирая пробы аналогичным образом при повышении температуры на каждые 10 °С через 10 мин после очередного повышения температуры. Заменить воду в чашках на 0,2 Н соляную кислоту. Через 20 мин учесть степень повреждения листа по количеству появившихся бурых пятен. Повторить эксперимент для второго вида растений.

Результаты записать в табл. 7, обозначив отсутствие побурения знаком «–», слабое побурение «+», побурение более 50 % площади листа «++» и сплошное побурение «+++».

Т а б л и ц а 7

Объект	Степень повреждения листьев при температуре, °С				
	40	50	60	70	80

Сделать вывод о степени жаростойкости исследованных растений. Объяснить причины неодинаковой жаростойкости.

4. Определение температурного порога коагуляции цитоплазмы (по П. А. Генкелю)

Для характеристики жаростойкости растений можно использовать показатель «температурный порог коагуляции белков цитоплазмы». Температура, при которой за 10 мин белки цитоплазмы полностью коагулируют, считается условной границей жаростойкости растений. При коагуляции белков цитоплазмы клетки погибают. Гибель клеток устанавливается по потере ими способности к плазмолизу.

Ц е л ь р а б о т ы – установить границы жаростойкости для клеток эпидермиса листьев разных видов растений.

Х о д р а б о т ы. Приготовить по 12 фрагментов эпидермиса листа двух видов растений. Поместить по два фрагмента каждого вида в пробирки с небольшим количеством водопроводной воды. Нагреть в большой колбе воду. Смешивая горячую воду с холодной, приготовить в шести химических стаканах водяные бани с температурой 48, 50, 52, 54, 56 и 58 °С (сделать на стаканах надписи). Одновременно погрузить в водяные бани пробирки с фрагментами ткани эпидермиса, поддерживая установленную температуру путем осторожного добавления в стакан горячей воды. Через 10 мин извлечь кисточкой срезы из пробирок, перенести их на предметные стекла, подписанные соответствующим образом. Если клетки не содержат пигмента, следует окрасить их, выдержав в растворе нейтрального красного в течение 5–10 мин. Нанести на срезы по капле 1 М раствора сахарозы, накрыть покровным стеклом и через 15–20 мин рассмотреть препарат в микроскоп.

Результаты записать в табл. 8, обозначив знаком «+» плазмолиз и знаком «–» отсутствие плазмолиза.

Т а б л и ц а 8

Объект	Наличие плазмолиза при температуре, °С					
	48	50	52	54	56	58

Сделать выводы о жаростойкости изученных видов растений, определив температурный порог коагуляции белков цитоплазмы.

Тестовые задания

1. Общим признаком стресса от разных факторов является:

- а) уменьшение проницаемости мембран;
- б) увеличение проницаемости мембран;

- в) увеличение объема вакуоли;
 - г) накопление белка в клетке.
2. Укажите последовательность процессов в первой стадии развития стресса у растений:
- а) снижение рН цитоплазмы, которое способствует активации гидролаз;
 - б) увеличение проницаемости мембран;
 - в) усиление процессов распада полимеров;
 - г) деполяризация мембран.
3. Уточните процессы, происходящие во второй стадии развития стресса у растений (вставьте пропущенные слова):
- а) _____ катаболических реакций;
 - б) _____ мембран;
 - в) _____ активности митохондрий, хлоропластов и уровня энергообеспечения;
 - г) _____ генерации активных форм кислорода.
4. В фазе адаптации у растений происходит:
- а) снижение рН;
 - б) стабилизация рН;
 - в) активация аппарата Гольджи.
5. Гормон, который накапливается при водном дефиците, вызывая закрытие устьиц:
- а) АБК;
 - б) ауксин;
 - в) гиббереллин;
 - г) цитокинин.
6. Солеустойчивость криногалофитов обусловлена:
- а) накоплением сахаров;
 - б) сбрасыванием солей в вакуоль;
 - в) секрецией солей;
 - г) непроникновением солей в растение.
7. Солеустойчивость гликогалофитов обусловлена:
- а) накоплением сахаров;
 - б) сбрасыванием солей в вакуоль;

- в) секрецией солей;
- г) непроницаемостью солей в растение.

8. Солеустойчивость эукариотов обусловлена:

- а) накоплением сахаров;
- б) сбрасыванием солей в вакуоль;
- в) секрецией солей;
- г) непроницаемостью солей в растение.

9. Резкое понижение температуры до отрицательных значений вызывает:

- а) механические повреждения тканей;
- б) обезвоживание;
- в) увеличение концентрации токсических соединений;
- г) все перечисленное.

10. При температуре 0 °С у растений в межклетниках начинается:

- а) гомогенная нуклеация;
- б) гетерогенная нуклеация.

11. Установите соответствие между названиями белков (1–4) и их функциями (а–г):

Названия белков

Функции белков

- 1) LEA-белки
- 2) шапероны
- 3) убиквитины
- 4) аквапорины

- а) образуют водные каналы мембран
- б) связывают молекулы воды
- в) стабилизируют структуру белка
- г) делают белок доступным для действия протеаз

12. Определите соответствие между названиями антиоксидантных ферментов (1–3) и клеточными компартментами, в которых они локализуются (а–в):

Названия ферментов

Локализация

- 1) каталаза;
- 2) пероксидаза;
- 3) супер-оксиддисмутаза

- а) пероксисомы;
- б) митохондрии, хлоропласты, пероксисомы, цитозоль;
- в) практически все клеточные компартменты, включая клеточную стенку

13. Определите соответствие между названиями антиоксидантных ферментов (1–3) и типами катализируемых ими реакций (а–в):

<i>Названия ферментов</i>	<i>Типы реакций</i>
---------------------------	---------------------

- | | |
|------------------------|--|
| 1) каталаза | а) восстановление пероксида водорода до воды с окислением при этом органических соединений |
| 2) пероксидаза | б) восстановление супероксид-радикала до пероксида водорода |
| 3) супероксиддисмутаза | в) разложение пероксида водорода с выделением молекулярного кислорода |

14. Синглетный кислород постоянно образуется:

- а) в клеточной стенке;
- б) ядре;
- в) хлоропласте;
- г) межклеточном пространстве.

15. Укажите метаболический процесс, который не характерен для растения при аноксии:

- а) гликолиз;
- б) цикл Кребса;
- в) брожение.

16. В растениях при затоплении накапливается:

- а) молочная кислота;
- б) уксусная кислота;
- в) метиловый спирт;
- г) пировиноградная кислота.

17. Название гормона, концентрация которого обычно возрастает в растении при аноксии:

- а) ИУК;
- б) гиббереллин;
- в) цитокинин;
- г) этилен.

18. Большое количество двойных связей у жирных кислот, входящих в состав липидов мембраны у растений, свидетельствует:

- а) об их жаростойкости;
- б) холодостойкости.

19. Основная функция убиквитина как белка теплового шока:
- а) осуществляет правильную сборку олигомерных структур;
 - б) осуществляет транспорт веществ через мембраны;
 - в) предотвращает денатурацию белков;
 - г) способствует денатурации белков.
20. Температурный шок у термонеустойчивых растений вызывает:
- а) увеличение интенсивности дыхания;
 - б) уменьшение интенсивности дыхания;
 - в) сначала увеличение, а потом уменьшение интенсивности дыхания.
21. Наиболее безопасным типом образования льда у морозоустойчивых растений является:
- а) внутриклеточный;
 - б) внеклеточный;
 - в) внеорганный.
22. При холодовом стрессе текучесть мембран клетки:
- а) понижается;
 - б) повышается;
 - в) не меняется.
23. Устойчивость к патогенам у растений связана с накоплением:
- а) сахаров;
 - б) липидов;
 - в) фитонцидов;
 - г) амидов.
24. Включение защитных механизмов в ответ на инфицирование растения осуществляется в следующей последовательности:
- а) некротические участки тканей отделяются от здоровых перидермой;
 - б) образование комплекса элиситер – рецептор индуцирует у растения реакцию сверхчувствительности;
 - в) паразит воздействует на клетки растения-хозяина с помощью элиситеров;
 - г) отмирание клеток растения-хозяина приводит к возникновению в них регуляторных молекул – производных полимеров матрикса клеточных стенок (олигосахаринов);

д) олигосахарины погибающих клеток диффундируют к соседним здоровым клеткам и вызывают в них синтез фитоалексинов;

е) мембранные рецепторы растения взаимодействуют с элиситером паразита.

25. Сигналами для запуска защитных реакций при поражении растений патогенами являются:

а) фитогормоны;

б) элиситеры;

в) фитонциды;

г) фитоалексины.

3. ФОТОСИНТЕЗ

Фотосинтез – это процесс образования органического вещества из CO_2 и воды на свету при участии хлорофилла за счет трансформации энергии квантов света. В самом общем виде этот процесс можно представить следующим образом: квант света поглощается хлорофиллом, молекула которого переходит в возбужденное состояние, при этом электрон переходит на более высокий энергетический уровень. Энергия возбуждения молекулы хлорофилла трансформируется в энергию электрохимического потенциала (мембранный потенциал протонов), а затем в энергию химических связей молекул АТФ и в конечном счете в энергию связей углеводов. Только с помощью зеленых растений энергия Солнца в биосфере преобразуется и накапливается в виде энергии химических связей органических соединений, составляющих основу первичной продуктивности, т. е. биомассы растений. Эта биомасса является источником органического вещества для всех гетеротрофов.

В процессе фотосинтеза из простых неорганических соединений (CO_2 , H_2O) образуются различные органические вещества. В результате происходит перестройка химических связей: вместо связей $\text{C}-\text{O}$ и $\text{H}-\text{O}$ возникают связи $\text{C}-\text{C}$ и $\text{C}-\text{H}$, которые запасают больше энергии.

Основным органом фотосинтеза у высших растений является лист. Особенности строения этого органа позволяют осуществлять процесс поглощения солнечной энергии, преобразовывать ее в энергию органических соединений и обеспечивать автотрофный тип питания, который характерен для растительного организма.

Поверхность листа покрыта эпидермисом, состоящим из живых клеток различной формы, не способных к ассимиляции углекислого газа. Эпидермис защищает лист от неблагоприятных факторов внешней среды, регулирует поток квантов света (этому способствуют различные структурные компоненты эпидермиса: восковой налет, волоски, выросты). За счет расположенных в эпидермисе устьиц

обеспечивается проведение в лист CO_2 и выделение O_2 . Верхний эпидермис листьев прозрачен (не препятствует проникновению квантов света в лист), нижний может быть окрашен.

Мезофилл листа светолюбивых растений состоит из клеток двух типов, столбчатых (палисадных) и губчатых. Столбчатый мезофилл находится под эпидермисом, содержит большую часть хлоропластов листа, способных к интенсивному фотосинтезу. Губчатый мезофилл имеет обширную систему межклетников и большую суммарную поверхность клеток, что способствует диффузии CO_2 в листе.

Листья теневыносливых растений могут иметь однородный мезофилл, представленный одним типом клеток.

Проводящие пучки образуют в листе разветвленную сеть. Они состоят из ксилемы, флоэмы и механической ткани (склеренхима, колленхима) и участвуют соответственно в транспорте в лист воды и минеральных веществ, оттоке ассимилятов из листа в другие органы растения, поддержании листа в пространстве.

Для поглощения света в процессе фотосинтеза необходимы фоторецепторы – пигменты. Фотосинтетические пигменты высших растений и большинства отделов водорослей, локализованные во внутренних мембранах хлоропластов, можно разделить на две группы – хлорофиллы и каротиноиды. У красных водорослей и цианобактерий имеются дополнительные пигменты – фикобилипротеины.

По химическому строению хлорофиллы – это сложные эфиры дикарбоновой кислоты хлорофиллина, у которой одна карбоксильная группа этерифицирована остатком метилового спирта, а другая – остатком одноатомного непредельного спирта фитола. Хлорофиллин представляет собой азотсодержащее металлоорганическое соединение, относящееся к магнийпорфиринам.

Хлорофилл способен к избирательному поглощению света. Спектр поглощения хлорофилла определяется его способностью поглощать свет определенной длины волны. Хлорофилл в той же концентрации, как в листе, имеет две основные линии поглощения в красных и сине-фиолетовых лучах. При этом хлорофилл *a*

в растворе имеет максимум поглощения 429 и 660 нм, тогда как хлорофилл *b* – 453 и 642 нм. В листе спектры поглощения хлорофилла меняются в зависимости от его состояния, степени агрегации и т. д. Растворы хлорофиллов в полярных растворителях при облучении их коротковолновым светом (например, ультрафиолетом) флуоресцируют. Хлорофилл испускает красные кванты флуоресценции. Агрегированный хлорофилл в живом листе флуоресцирует слабо. Растворы хлорофиллов способны также к фосфоресценции (т. е. длительному послесвечению), максимум которой лежит в инфракрасной области.

Лабораторная работа 5

Ц е л ь р а б о т ы – изучить внешнее и внутреннее строение листа, определить черты, позволяющие ему эффективно осуществлять фотосинтез.

1. Определение индексов массы и поверхности органов растения

Соотношение массы и поверхности органов растения связано с выполняемыми ими функциями. Как правило, большую поверхность имеют органы, использующие ресурсы внешней среды (свет, вода, минеральные элементы).

Х о д р а б о т ы. У растений, выращенных в водной культуре, разделить листья, корни, стебли. Определить соотношение между поверхностью и массой корней, стеблей и листьев.

Площадь листьев определить весовым методом. Поверхность корней и стеблей рассчитать, исходя из предположения, что они имеют форму цилиндра:

$$S = 2\pi rl,$$

где S – поверхность корней и стеблей, см²; r – радиус основания, см; l – длина цилиндра, см.

Массу органов определить с использованием торсионных или электронных весов.

Массу и поверхность определить не менее чем у трех растений. Результаты оформить в виде таблицы (табл. 9).

Объяснить полученные данные, исходя из представлений о функциях, выполняемых разными органами растений.

Т а б л и ц а 9

Орган	Повторности	Поверхность (S), см ²	Масса (M), мг	Отношение S/M , см ² /мг
Корень	1			
	2			
	3			
	Среднее			
Стебель	1			
	2			
	3			
	Среднее			
Лист	1			
	2			
	3			
	Среднее			

2. Изучение внутренней организации листа

Все биологические системы характеризуются строгим соответствием структуры и выполняемой функции. Лист как специализированный орган фотосинтеза имеет особенности внутреннего строения, позволяющие эффективно проводить свет к реакционным центрам фотосистем и углекислый газ к центрам карбоксилирования.

Х о д р а б о т ы. Приготовить поперечные срезы листьев C_3 - и C_4 -растений, рассмотреть их под микроскопом и зарисовать. Отметить все структуры листа (эпидермис, мезофилл, сосудисто-проводящие пучки, устьица, межклетники и т. д.). Подсчитать для каждого вида число слоев мезофильных клеток, число хлоро-

пластов в клетке (не менее 10 повторностей). У C_3 -растений подсчет проводить отдельно в палисадных и губчатых клетках мезофилла, у C_4 -растений – в клетках мезофилла и клетках обкладки. Полученные результаты занести в таблицу (табл. 10).

В выводах отметить, какое значение имеют обнаруженные структуры и особенности строения листа (внешнего и внутреннего) для осуществления фотосинтетической функции.

Т а б л и ц а 10

Объект	Тип строения мезофилла листа	Тип ткани	Число клеточных слоев	Число хлоропластов в клетке

Лабораторная работа 6

1. Определение содержания хлорофилла в листьях

Хлорофиллы – фотосенсибилизаторы, основные фотосинтетические пигменты растений. Они входят в состав реакционного центра фотосистемы I и фотосистемы II, а также в состав светособирающих комплексов. У всех растений хлорофилла *a* содержится больше, чем хлорофилла *b*. В зависимости от условий освещения соотношение этих форм хлорофилла может быть неодинаковым. Величина данного отношения свидетельствует об обеспеченности листьев светом или об их принадлежности к светолюбивым или теневыносливым растениям.

Ц е л ь р а б о т ы – определить концентрацию хлорофиллов *a* и *b*, их процентное содержание и соотношение в листьях разных видов растений.

Х о д р а б о т ы. Отделенные от растения листья измельчить ножницами, удалить черешки и крупные жилки. Взять навеску

листьев 100 мг, поместить в охлажденную ступку, добавить кварцевого песка или растертого стеклянного порошка, немного (на кончике скальпеля) CaCO_3 , прилить 2–3 мл 96 % спирта и тщательно растереть. Слить гомогенат в центрифужную пробирку. Прилить в ступку еще немного спирта, растереть, снова слить гомогенат в пробирку. Повторить эту операцию еще 2–3 раза, перенося гомогенат ткани листа в пробирку полностью. Сполоснуть ступку 3 раза спиртом, слить в пробирку. Пробирки попарно уравновесить на центрифужных весах, поместить в центрифугу. Центрифугировать материал при 8000 об/мин в течение 10 мин. Слить супернатант в мерную колбу на 25 мл, осадок промыть 2 раза (добавить 3–4 мл спирта к осадку, перемешать и снова центрифугировать). Вылить вытяжку в мерную колбу на 25 мл и довести 96 % спиртом до метки.

Определить концентрацию хлорофилла a и хлорофилла b , измерив оптическую плотность экстракта на спектрофотометре. Концентрацию пигментов рассчитать по формулам

$$C_a (\text{мг/л}) = 13,70D_{665} - 5,76D_{649},$$

$$C_b (\text{мг/л}) = 25,80D_{649} - 7,60D_{665}.$$

Пересчитать содержание хлорофиллов на единицу массы листа ($\text{мг} \cdot \text{хл/г}$ сыр. массы), процентное содержание пигментов в листе, а также отношение $\text{хл } a / \text{хл } b$.

Результаты опыта занести в табл. 11.

В выводах сопоставить содержание хлорофиллов в разных объектах, а также соотношение хлорофилла a и хлорофилла b . Сделать предположение о световом обеспечении листьев изученных растений.

Т а б л и ц а 11

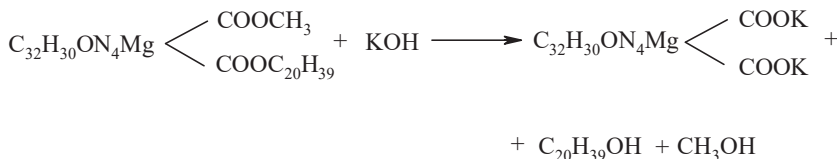
Объект	Навеска, мг	Объем вытяжки, мл	Оптическая плотность		Содержание хлорофилла, мг/л		Соотношение $\text{хл } a/b$	Содержание хлорофилла в листьях, %	
			D_{665}	D_{649}	$\text{хл } a$	$\text{хл } b$		$\text{хл } a$	$\text{хл } b$

2. Получение производных хлорофилла. Омыление хлорофилла, феофитинизация

Хлорофиллы – сложные органические соединения, представляющие собой эфиры хлорофиллиновой кислоты и двух спиртов – фитола и метанола. Свойства этих пигментов обусловлены химической организацией их полярной (порфириновое кольцо) и неполярной (остаток фитола) частей.

Ц е л ь р а б о т ы – изучить химические свойства хлорофиллов.

Омыление хлорофилла щелочью. В результате реакции омыления хлорофилла щелочью происходит отщепление спиртов – метанола и фитола, а двухосновная кислота хлорофиллин дает соль:



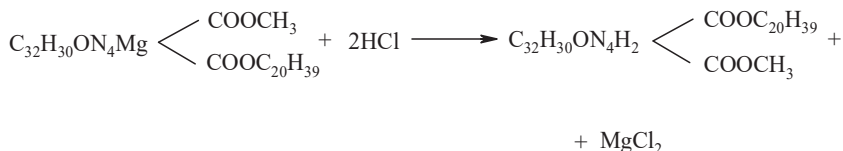
Соли хлорофиллиновой кислоты имеют зеленую окраску, но отличаются от хлорофилла нерастворимостью в неполярных растворителях, например, в бензине. Желтые и красные фотосинтетические пигменты – каротиноиды – со щелочью не реагируют.

Х о д р а б о т ы. Приготовить 10 мл спиртового экстракта пигментов. Его получают, используя в качестве экстрагента 96 % этанол. Взять 2–3 мл экстракта, добавить 4–5 капель 20 % раствора щелочи, смешать. Прилить в пробирку равный объем бензина и дать отстояться. Отметить окраску спиртового и бензинового слоев. Зарисовать результат.

В выводе указать, какие из продуктов омыления хлорофилла растворены в спирте и какие в бензине. Почему? Как это связано с их свойствами?

Получение феофитина и восстановление металлургической связи. Буровато-оливковое вещество феофитин – продукт замещения магния в молекуле хлорофилла двумя атомами водорода.

Процесс замещения магния в молекуле хлорофилла называется феофитинизацией:



Х о д р а б о т ы. Взять две пробирки со спиртовой вытяжкой пигментов (по 2–3 мл в каждой) и добавить в них по 2–3 капли 10 % HCl. Получается вещество буровато-оливкового цвета – феофитин. В одну из пробирок с феофитином на кончике ножа внести уксуснокислый цинк и довести раствор до кипения. Если окраска раствора не изменится, добавить еще немного уксуснокислого цинка и продолжить нагревание. Сравнить окраску растворов в обеих пробирках. Отметить, с чем связано наблюдаемое изменение окраски. Написать уравнение реакции.

Сделать вывод о том, чем обусловлена зеленая окраска хлорофиллов.

Лабораторная работа 7

1. Оптические свойства пигментов. Спектры поглощения

Пластинные пигменты поглощают свет в диапазоне от 400 до 720 нм, т. е. в области фотосинтетически активной радиации (ФАР). Каждый пигмент имеет характерный спектр поглощения, так как оптические свойства пигментов определяются их химическим строением.

Ц е л ь р а б о т ы – сравнить спектры поглощения хлорофиллов и каротиноидов.

Х о д р а б о т ы. По 3 мл спиртового экстракта хлорофиллов (полученного как описано ранее) разбавляют в 2 и 5 раз этанолом и используют для определения оптической плотности растворов на спектрофотометре. Готовят бензиновый экстракт каротиноидов или используют бензиновую фракцию после омыления хлорофиллов (как описано в предыдущей работе). Оптическую плотность

полученных растворов измеряют спектрофотометрически при разных длинах волн в диапазоне от 360 до 720 нм с шагом 2 нм. Зарисовывают спектры поглощения (или регистрируют автоматически).

Делают вывод об особенностях спектров поглощения хлорофиллов и каротиноидов и определяют максимум поглощения этих пигментов в красной и синей частях спектра.

2. Флуоресценция хлорофилла

Флуоресценция – это процесс испускания света возбужденной молекулой, в частности молекулой хлорофилла, при поглощении ею кванта света. Флуоресценция лишь один из способов перехода молекул из возбужденного состояния в стационарное. При флуоресценции энергия излученного кванта отличается от энергии поглощенного кванта: в соответствии с правилом Стокса длина волны испускаемого кванта всегда больше, чем поглощенного. В живом листе может флуоресцировать хлорофилл *a*, а в растворах – хлорофиллы *a* и *b*.

Ц е л ь р а б о т ы – пронаблюдать флуоресценцию хлорофилла в растворе и в живом листе.

Х о д р а б о т ы. Спиртовую вытяжку пигментов в пробирке помещают на темную бумагу у источника ультрафиолетового света, в отраженном свете наблюдают за флуоресценцией экстракта. Отмечают, каким цветом флуоресцирует хлорофилл. Для наблюдения флуоресценции в живом листе используют элодею или мох мниум в водной среде. Объект помещают на предметный столик микроскопа и освещают сине-фиолетовыми лучами. Отмечают свечение хлоропластов.

Сделать вывод о флуоресценции хлорофилла в листе и растворе, объяснить, почему хлорофилл флуоресцирует красным светом.

Тестовые задания

1. Гидрофильные свойства молекулы хлорофилла обусловлены:
 - а) фитолом, порфирином, металлорганической связью;
 - б) метанолом, фитолом, порфирином;

- в) метанолом, порфирином;
г) порфирином, фитолом.
2. Гидрофобные свойства хлорофилла обусловлены:
а) фитолом, порфирином, металлоорганической связью;
б) метанолом, фитолом, порфирином;
в) метанолом, фитолом;
г) фитолом.
3. Хлорофилл по своей химической природе является сложным _____ дикарбоновой кислоты _____ и остатков спир-
тов _____ и _____ .
4. Хлорофилл поглощает кванты света:
а) желтые и зеленые;
б) оранжевые и желтые;
в) зеленые и голубые;
г) красные и синие.
5. Предшественником витамина А является:
а) хлорофилл *a*;
б) хлорофилл *b*;
в) каротин;
г) ксантофилл.
6. При облучении синим светом хлорофилл флуоресцирует в об-
ласти спектра:
а) красной;
б) желтой;
в) сине-фиолетовой;
г) ультрафиолетовой;
д) инфракрасной.
7. При биосинтезе хлорофилла свет необходим на этапе: _____ .
8. Первое синглетное состояние молекулы хлорофилла связа-
но с поглощением кванта _____ света.
9. Второе синглетное состояние молекулы хлорофилла связа-
но с поглощением кванта _____ света.
10. Реакция Хилла демонстрирует процесс _____ .

11. Эффект Эмерсона является доказательством _____

12. Окисление хлорофилла при фотосинтезе происходит при переходе электрона с уровня:

- а) стационарного;
- б) первого синглетного;
- в) второго синглетного;
- г) триплетного.

13. Первичным акцептором электронов в фотосистеме I является:

- а) ферредоксин;
- б) феофитин;
- в) пластоцианин;
- г) мономерная форма хлорофилла a_{695} .

14. Первичным акцептором электронов в фотосистеме II является:

- а) ферредоксин;
- б) феофитин;
- в) пластоцианин;
- г) мономерная форма хлорофилла a_{695} .

15. Пигментбелковый комплекс, включающий хлорофилл с максимумом поглощения 680 нм, феофитин и другие компоненты, называется:

- а) PQ;
- б) ФС I;
- в) ФС II;
- г) ССК.

16. Восстановление хлорофилла фотосистемы II после его фотоокисления происходит за счет:

- а) АТФ;
- б) пластохинона;
- в) НАДФ;
- г) воды.

17. При циклическом фосфорилировании кислород _____, НАДФН _____, АТФ _____, участвует _____ фотосистема.

18. При нециклическом фосфорилировании кислород _____, НАДФН _____, АТФ _____, участвует _____ фотосистема.

19. Терминальным акцептором при циклическом переносе электронов является _____.

20. Терминальным акцептором при нециклическом транспорте электронов является _____.

21. После выключения света в листе:

- а) увеличивается содержание ФГК;
- б) уменьшается содержание ФГК;
- в) содержание ФГК не изменяется.

22. После выключения света в листе:

- а) увеличивается содержание РуБФ;
- б) уменьшается содержание РуБФ;
- в) содержание РуБФ не изменяется.

23. Из предложенного перечня выберите названия процессов, происходящих в световую фазу фотосинтеза:

- а) образование сахаров;
- б) фотолиз воды;
- в) фотовозбуждение хлорофилла;
- г) цикл Кальвина;
- д) образование АТФ;
- е) восстановление НАДФ;
- ж) окисление НАДФН;
- з) выделение кислорода.

24. Продукты световой стадии фотосинтеза, используемые в темновой стадии:

- а) АДФ и НАДФ;
- б) АДФ и кислород;
- в) АТФ и НАДФН;
- г) НАДФ и кислород.

25. Из предложенного перечня выберите названия процессов, происходящих в темновую фазу фотосинтеза:

- а) образование сахаров;

- б) фотолиз воды;
- в) фотовозбуждение хлорофилла;
- г) цикл Кальвина;
- д) образование АТФ;
- е) восстановление НАДФ;
- ж) окисление НАДФН;
- з) выделение кислорода.

26. К раствору феофитина добавили уксуснокислый цинк и нагрели до кипения. Окраска раствора станет:

- а) бурой;
- б) зеленой;
- в) красной;
- г) желтой.

27. У САМ растений ночью происходит _____ рН за счет накопления _____ в _____ .

28. Под световой компенсационной точкой (компенсационным пунктом) понимается освещенность, при которой скорости поглощения углекислоты при фотосинтезе и ее выделения при темновом дыхании:

- а) равны нулю;
- б) равны между собой;
- в) максимальны;
- г) отличаются в наибольшей степени.

29. В первой фазе цикла Кальвина в результате карбоксилирования РуБФ образуется:

- а) ФГА;
- б) ФГК;
- в) фруктозо-6-фосфат;
- г) глюкозо-6-фосфат.

30. При первичной фиксации CO_2 у С-4 растений акцептором CO_2 является _____ , продуктом карбоксилирования – _____ , продуктом восстановления – _____ , продуктом стадии регенерации – _____ .

31. У С-4 НАДФ-маликэнзимных растений в клетки обкладки из клеток мезофилла транспортируется _____, а в клетки мезофилла из обкладки _____.

32. Синтез сахарозы при фотосинтезе происходит:

- а) в строме хлоропласта;
- б) тилакоидах хлоропласта;
- в) цитоплазме;
- г) аппарате Гольджи.

33. Напишите, используя структурные формулы соединений, реакции, катализируемые РубФК/О.

34. Напишите, используя структурные формулы соединений, реакции, катализируемые ФЕПК и ААТ у С-4 растений.

35. Напишите, используя структурные формулы соединений, реакцию образования акцептора CO_2 у С-4 растений в клетках мезофилла, назовите фермент.

36. Напишите, используя структурные формулы соединений, реакцию образования акцептора CO_2 у САМ растений ночью, назовите фермент.

37. Запишите транскетолазные реакции цикла Кальвина.

38. Запишите альдолазные реакции цикла Кальвина.

39. При повышении содержания CO_2 выше 10 % фотосинтез:

- а) возрастает;
- б) снижается;
- в) такой же, как при 1 % CO_2 .

4. ДЫХАНИЕ РАСТЕНИЙ

Дыхание – это окислительный процесс, осуществляемый с участием кислорода. Его суть состоит в многостадийном окислении органических веществ, сопровождающемся образованием химически активных метаболитов и запасанием энергии в виде АТФ. Метаболиты и АТФ используются клетками в процессах жизнедеятельности. Существуют два основных пути превращения дыхательного субстрата, или окисления углеводов: 1) гликолиз и цикл Кребса (гликолитический); 2) пентозофосфатный (апотомический).

Относительная роль этих путей дыхания может меняться в зависимости от типа растений, возраста, фазы развития, а также в зависимости от факторов среды. Процесс дыхания у растений осуществляется на протяжении всего онтогенеза в широком диапазоне внешних условий.

Гликолитический путь дыхательного обмена является наиболее распространенным и, в свою очередь, состоит из двух фаз. Первая фаза – анаэробная (гликолиз), вторая фаза – аэробная. Эти фазы локализованы в различных компартментах клетки: анаэробная фаза, гликолиз, – в цитоплазме, аэробная фаза – в митохондриях. Гликолиз осуществляется во всех живых клетках организмов и может протекать в анаэробных условиях. В процессе гликолиза происходит расщепление и окисление молекулы гексозы до двух молекул пировиноградной кислоты. В результате процесса гликолиза образуются две молекулы ПВК и четыре молекулы АТФ, однако две из них тратятся на фосфорилирование гексозы, таким образом, чистый выход гликолиза – две молекулы АТФ. Кроме АТФ при гликолизе образуются две молекулы НАДН.

Вторая фаза дыхания – аэробная – локализована в митохондриях и требует присутствия кислорода. В аэробную фазу дыхания вступает ПВК.

Процесс можно разделить на три основные стадии:

- 1) окислительное декарбоксилирование ПВК;

- 2) цикл трикарбоновых кислот (цикл Кребса);
- 3) заключительная стадия окисления – окислительное фосфорилирование при участии электронтранспортной цепи (ЭТЦ) – требует обязательного присутствия кислорода.

Первые две стадии происходят в матриксе митохондрий, электронтранспортная цепь локализована на внутренней мембране митохондрий.

Лабораторная работа 8

1. Обнаружение каталазы в картофельном соке

Важной функцией каталазы является разрушение токсичного для клеток пероксида водорода, образующегося при дыхании:



В отличие от пероксидазы, которая также разлагает пероксид водорода, каталаза разрушает этот субстрат с образованием молекулярного кислорода.

Ц е л ь р а б о т ы – доказать, что свежий картофельный сок является источником каталазы.

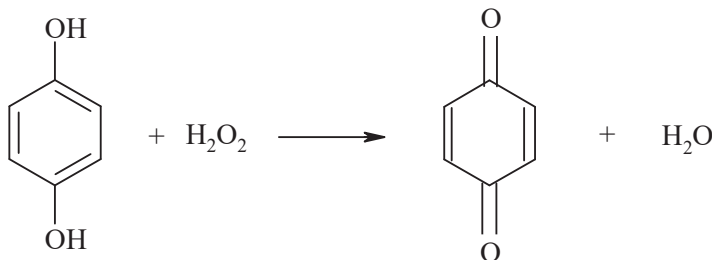
Х о д р а б о т ы. Очищенный от кожуры картофель натереть на терке. Гомогенат отжать через марлю, сок собрать в пробирку. Внести 10 капель картофельного сока в пробирку с разбавленным раствором H_2O_2 (5 мл воды и 10 капель 3 % пероксида водорода). Пронаблюдать за реакцией в пробирке. Прокипятить картофельный сок. Повторить эксперимент с прокипяченным соком. Описать наблюдаемые в пробирке изменения.

Сделать вывод, объяснить полученные результаты.

2. Обнаружение пероксидазы в картофельном соке

Пероксидаза – фермент, катализирующий окисление полифенолов и некоторых ароматических аминов с помощью пероксида водорода или органических перекисей. Пероксидаза образует с пероксидом водорода комплексное соединение, в результате чего пероксид активируется и приобретает способность действовать как акцептор водорода.

Обнаружение пероксидазы основано на изменении окраски растворов при окислении полифенолов в хиноны по схеме:



Ц е л ь р а б о т ы – доказать, что свежий картофельный сок – источник пероксидазы.

Х о д р а б о т ы. Очищенный от кожуры картофель натереть на терке, затем отжать через марлю, собрать сок в колбу. Приготовить четыре пробирки, внести в них по 5 мл 1 % раствора гидрохинона. В первую пробирку налить 1 мл 3 % раствора пероксида водорода и 1 мл картофельного сока, во вторую – 1 мл 3 % раствора пероксида водорода, в третью – 1 мл картофельного сока, в четвертую – также 1 мл картофельного сока, но предварительно прокипяченного в течение 1 мин, и 1 мл 3 % пероксида водорода.

При окислении гидрохинона в хинон происходит побурение раствора, а также некоторое побурение самого картофельного сока без добавления гидрохинона и пероксида водорода. Наблюдаемый эффект связан с действием полифенолоксидазы, окисляющей полифенолы тканей картофеля с участием молекулярного кислорода.

Результаты опыта записать в табл. 12.

Объяснить полученные результаты.

3. Влияние динитрофенола на поступление воды в ткань клубня картофеля

Динитрофенол – классический разобщающий агент, который, прекращая окислительное фосфорилирование, не изменяет или даже стимулирует окисление субстрата. В результате энергетическая эффективность дыхания значительно снижается, следовательно,

Т а б л и ц а 12

Вариант	Состав смеси в пробирках			Окраска раствора в пробирках
	Картофельный сок (источник пероксидазы) – свежий или прокипяченный	H ₂ O ₂	Гидрохинон	
1				
2				
3				
4				

замедляются процессы, идущие с затратой АТФ. Поэтому динитрофенол используют как средство установления зависимости того или иного процесса от энергии, запасаемой в процессе дыхания.

Ц е л ь р а б о т ы – определить влияние динитрофенола на поступление воды в ткань клубня картофеля.

Х о д р а б о т ы. Из клубня картофеля вырезать ножом 10 пластинок длиной и шириной около 1,5 см и толщиной 2–3 мм. Разделить их на две группы, каждую взвесить и поместить в бюксы. Одну группу залить 15 мл водопроводной воды, другую – 15 мл насыщенного раствора динитрофенола и оставить в открытых бюксах при комнатной температуре на 1,5 ч. Затем пластинки достать, просушить фильтровальной бумагой и снова взвесить. Рассчитать, сколько проникло воды в пластинки в каждом варианте.

Результаты опыта занести в табл. 13.

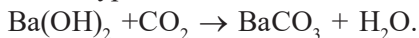
Т а б л и ц а 13

Условия опыта	Масса картофеля, г		Прибавка массы	
	до опыта	после опыта	г	%
Вода				
Динитрофенол				

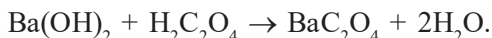
На основании полученных данных сделать вывод о влиянии динитрофенола на поступление воды в ткань клубня картофеля, объяснить результаты.

4. Определение интенсивности дыхания семян в закрытом сосуде

Метод заключается в учете количества CO_2 , выделяемого семенами при дыхании. Диоксид углерода поглощается гидроксидом бария в соответствии с уравнением



Избыток гидроксида бария, не прореагировавшего с CO_2 , оттитровывают щавелевой кислотой:



Ц е л ь р а б о т ы – определить зависимость интенсивности дыхания прорастающих семян от температуры.

Х о д р а б о т ы. В марлевый мешочек поместить 4 г прорастающих семян пшеницы. В две конические колбы налить с помощью бюретки по 10 мл 0,1н $\text{Ba}(\text{OH})_2$ и закрыть их пробками. В одну колбу быстро подвесить на крючок пробки мешочек с семенами, другую колбу используют в качестве контроля. Оставить обе колбы на 1 ч при комнатной температуре. В течение опыта периодически покачивать колбы, чтобы пленка, образующаяся на поверхности гидроксида бария, разрушалась и не препятствовала поглощению CO_2 .

Определить температуру воздуха в лаборатории с помощью ртутного термометра.

Через 1 ч достать из колбы мешочек с семенами, добавить в колбу три капли фенолфталеина и оттитровать раствор 0,1 н щавелевой кислотой до слабо-розового окрашивания, исчезающего от одной капли кислоты. Также оттитровать раствор в контрольной колбе. Интенсивность дыхания рассчитать по формуле

$$D = ((a - e) \cdot K \cdot 2,2) / M,$$

где D – интенсивность дыхания, $\text{мг} \cdot \text{CO}_2/\text{г}$ массы сухих семян в час; a – количество 0,1 н щавелевой кислоты, пошедшее на тит-

рование раствора в контрольном варианте, мл; v – количество 0,1 н щавелевой кислоты, пошедшее на титрование раствора в опытном варианте, мл; K – поправка к титру 0,1 н щавелевой кислоты; 2,2 – количество CO_2 , мг, соответствующее 1 мл 0,1 н раствора щавелевой кислоты; M – масса сухих семян, г.

Параллельно определить дыхание семян при температуре 30 °С. Для этого другие колбы с семенами и без семян поставить в термостат, разогретый до заданной температуры.

Результаты опыта записать в табл. 14.

Т а б л и ц а 14

Условия опыта, t°	Навеска семян, г	Влажность семян, %	Масса сухих семян, г	Объем BaCO_3 , мл	Объем щавелевой кислоты, мл		Интенсивность дыхания, $\text{мг} \cdot \text{CO}_2 / \text{г} \cdot \text{ч}$
					Контроль	Опыт	

Сделать вывод о влиянии температуры на скорость дыхания.

Необходимо помнить, что гидроксид бария ядовит и его нельзя оставлять открытым!

Тестовые задания

1. Окисление глюкозы при дыхании складывается из двух фаз. Первая из них называется анаэробной, поскольку:

- осуществляется только при отсутствии кислорода;
- частично ингибируется кислородом;
- кислород не участвует в окислении;
- кислород используется при окислении субстрата.

2. Энергетический выход гликолиза:

- 2 молекулы АТФ;
- 2 молекулы АТФ и 2 молекулы НАДН;
- 4 молекулы АТФ;
- 10 молекул АТФ.

3. Вещество, являющееся конечным продуктом гликолиза:

- а) глюкоза;
- б) углекислый газ;
- в) пировиноградная кислота;
- г) вода.

4. Класс ферментов, представители которого не участвуют в гликолизе:

- а) оксидоредуктазы;
- б) трансферазы;
- в) гидролазы;
- г) лиазы.

5. Выберите названия ферментов, которые участвуют в эндогенном этапе гликолиза:

- а) пируваткиназа;
- б) фосфофруктокиназа;
- в) гексокиназа;
- г) фосфоглицераткиназа;
- д) енолаза;
- е) альдолаза.

6. Определите последовательность ферментов, катализирующих реакции гликолиза:

- а) енолаза;
- б) пируваткиназа;
- в) фосфоглицератмутаза;
- г) глицеральдегид-3-фосфатдегидрогеназа;
- д) фосфоглицераткиназа.

7. Окислительное декарбоксилирование пирувата осуществляется:

- а) в цитозоле;
- б) на внутренней мембране митохондрий;
- в) в матриксе митохондрий.

8. Большинство ферментов цикла трикарбоновых кислот локализованы:

- а) в цитоплазме;
- б) во внешней мембране митохондрий;

в) в матриксе митохондрий;

г) в ядре.

9. Дыхательные пиридиновые дегидрогеназы осуществляют перенос водорода:

а) на кислород;

б) в цепь переноса электронов;

в) на окисленный НАД или НАДФ;

г) на органические кислоты цикла Кребса;

д) на глюкозу.

10. Выберите из предложенного перечня названия ферментов цикла Кребса, которые могут работать только в аэробных условиях:

а) малатдегидрогеназа;

б) сукцинил-коэнзим А синтетаза;

в) фумаратгидратаза;

г) изоцитратдегидрогеназа;

д) 2-оксoglутаратдегидрогеназный комплекс;

е) цитратсинтаза;

ж) сукцинатдегидрогеназа;

з) цис-аконитатгидратаза.

11. Окислительное фосфорилирование – это процесс переноса электронов по дыхательной цепи, идущий с образованием:

а) АТФ;

б) фосфатов;

в) белков;

г) витаминов.

12. Общими чертами дыхания и фотосинтеза являются:

а) образование углекислого газа;

б) синтез АТФ;

в) необходимость солнечного света;

г) потребление кислорода.

13. Увеличению интенсивности фотодыхания способствует:

а) высокая концентрация O_2 ;

б) высокая концентрация CO_2 ;

в) высокая концентрация углеводов в клетках;

- г) низкая концентрация O_2 ;
- д) низкая концентрация углеводов в клетках.

14. При повреждении тканей дыхание:

- а) усиливается;
- б) уменьшается;
- в) не изменяется;
- г) прекращается.

15. Увеличение дыхательного коэффициента происходит:

- а) в анаэробных условиях;
- б) при затоплении корней растения;
- в) при свободном доступе кислорода;
- г) при использовании в качестве дыхательного субстрата пальмитиновой кислоты.

16. Назовите ферменты, одинаковые для гликолиза и пентозофосфатного окислительного пути (ПФОП). Напишите соответствующие реакции, используя структурные формулы соединений.

17. Назовите ферменты дыхания, осуществляющие декарбоксилирование субстратов. Напишите соответствующие реакции.

18. Назовите ферменты, одинаковые для цикла трикарбоновых кислот и глиоксилатного шунта. Напишите соответствующие реакции, используя структурные формулы соединений.

19. Конечные продукты окислительного декарбоксилирования ПВК _____.

20. Гем-содержащим ферментом является:

- а) дегидрогеназа ФГА;
- б) аскорбатоксидаза;
- в) цитохромоксидаза;
- г) полифенолоксидаза;
- д) каталаза.

5. КОРНЕВОЕ ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ

Корневая система представляет собой сложный орган с дифференцированной внешней и внутренней структурой. Рост корня не ограничен и продолжается в течение жизни растения. Рост осуществляется за счет образовательных тканей – меристем, которые расположены на верхушке корня. С физиологической точки зрения корневая система неоднородна. В корне различают несколько зон. Верхушка корня снаружи защищена корневым чехликом, состоящим из живых тонкостенных продолговатых клеток. Корневой чехлик служит защитой для точки роста. Клетки корневого чехлика слущиваются, что уменьшает трение и способствует проникновению корня вглубь почвы. Под корневым чехликом расположена меристематическая зона. Меристема состоит из многочисленных мелких, интенсивно делящихся, плотно упакованных клеток, почти целиком заполненных цитоплазмой. Следующая зона – зона растяжения, где клетки растут, увеличиваются в объеме. Еще дальше от верхушки корня – зона всасывания (корневых волосков), образованная дифференцированными клетками. При дальнейшем увеличении возраста клеток, а также расстояния от кончика корня корневые волоски исчезают, наблюдаются процессы кутинизации и опробковения клеточных оболочек. Это зона называется зоной проведения.

Поглощение воды происходит главным образом клетками зоны растяжения и зоны корневых волосков. Корневые волоски – выросты клеток эпидермы корня. Они растут путем выпячивания и растяжения клеточной стенки. Для их роста необходим кальций. Покровная ткань корня называется ризодермой. Вглубь от ризодермы до перicycle локализованы клетки коры. Кора состоит из нескольких слоев паренхимных клеток. Важной особенностью коры является развитие системы крупных межклетников. На границе коры и центрального цилиндра развивается один слой плотно прилегаю-

щих друг к другу клеток – эндодерма, для которой характерно наличие поясков Каспари – суберинизированных участков клеточных стенок. Клетки эндодермы служат основным физиологическим барьером для передвижения воды и растворенных веществ по апопласту. В эндодерме имеются пропускные клетки, не имеющие суберина в клеточных стенках. В центральном цилиндре расположены проводящие ткани корня – ксилема и флоэма.

О минеральном составе растений можно судить по анализу золы, которая остается после сжигания биомассы. Растения в среднем содержат С – 45 %, О – 42 %, Н – 6,5 %, N – 1,5 % в пересчете на сухую массу. Данные элементы являются органогенными. Оставшиеся 5 % приходятся на зольные элементы – Р, S, К, Са, Mg, Fe, Al, Si, Na и др. Их объединяют в группу, которая называется «макроэлементы». Содержание этих элементов в массе растений составляет сотые и тысячные доли процента. К микроэлементам относят те, которые присутствуют в биомассе в концентрации 0,001 % и менее в пересчете на сухую массу.

Растения ассимилируют углерод из CO_2 воздуха, а источником кислорода и водорода является вода. Азот и элементы, входящие в состав золы, поступают в растения через корневую систему из почвы в основном в виде минеральных соединений.

Лабораторная работа 9

1. Определение общей и рабочей поверхности корней

Одна из важнейших характеристик корневой системы растений – размеры ее поверхности и поглотительная способность. Первичным актом поглощения веществ является их адсорбция на поверхности корня. Большинство веществ не только адсорбируются, но и десорбируются с поверхности корня. Десорбция более выражена на тех участках корня, где отсутствует или замедлен процесс транспорта веществ внутрь тканей корня. Часть корня, через которую вещества проникают внутрь тканей, называют рабочей поверхностью. Д. А. Сабинин и И. И. Колосов разработали метод определения общей и рабочей поверхности корней на основании

учета количества поглощенного корнями метиленового синего из раствора. Краситель при этом частично адсорбируется и частично проводится внутрь корня. Было установлено, что 1 мг метиленового синего при мономолекулярной адсорбции покрывает 1,05 м² поверхности адсорбента.

Ц е л ь р а б о т ы – определить общую и рабочую поверхность корневых систем растений, определить относительную величину рабочей поверхности (%).

Х о д р а б о т ы. Налить из бюретки в три стакана одинаковое количество раствора метиленового синего (112 мг/л). Объем раствора в стакане должен быть в 5–10 раз больше объема корневой системы. Стаканы необходимо пронумеровать. Записать объем раствора в каждом стаканчике.

Корни, извлеченные из сосуда с водой, осторожно обсушить фильтровальной бумагой и последовательно погрузить в три стакана с метиленовым синим на 1,5 мин. При этом растворы необходимо перемешивать, осторожно поворачивая корни или покачивая стаканчики.

Для расчета поверхности корней необходимо определить концентрацию метиленового синего в стаканах после пребывания в них корней. Для этого необходимо измерить оптическую плотность опытных и исходного растворов. Оптическую плотность растворов определить на ФЭЖе при красном светофильтре. Концентрацию метиленового синего в опытных образцах рассчитать по пропорции. Опыт выполнить в трех повторностях.

Результаты опыта занести в табл. 15.

Расчет поверхности корня. Умножая объем раствора в стакане на концентрацию соответствующего раствора, вычислить количество метиленового синего до и после погружения корней, а по разности полученных величин – количество красителя, адсорбированного корневой системой. Поглощение метиленового синего в первых двух стаканах характеризует общую адсорбирующую поверхность корня, поглощение в третьем – рабочую поверхность. Умножая количество (мг) поглощенного метиленового синего на 1,05, получаем величину поверхности (м²).

Т а б л и ц а 15

Номер стакана	Оптическая плотность				Концентрация метиленового синего
	Повторности			Среднее	
	1	2	3		
1					
2					
3					
Стандартный раствор					112 мг/л

Полученные данные занести в табл. 16.

Т а б л и ц а 16

Номер стакана	Количество метиленового синего, мг		Поглощение метиленового синего, мг	Поглощенный метиленовый синий в первом и втором стаканах, мг	Поверхность корня, м ²	
	до погру- жения	после погру- жения			общая	рабочая
1						
2						
3						

Рассчитать относительную величину рабочей поверхности.

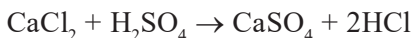
2. Микрохимический анализ золы

Ц е л ь р а б о т ы – обнаружение основных макроэлементов в золе растений.

Х о д р а б о т ы. Насыпать в пробирку небольшое количество золы и залить ее примерно 4-кратным объемом 10 % HCl. Отфильтровать полученный раствор в чистую пробирку. Провести на предметных стеклах микрореакции для обнаружения Ca, Mg и P.

Для этого тупым концом стеклянной палочки нанести на предметное стекло маленькую каплю вытяжки и на расстоянии 4–5 мм от нее – каплю соответствующего реактива. Затем заостренным концом стеклянной палочки соединить капли дугообразным каналом. В месте соединения произойдет реакция, причем по краям канала будет наблюдаться быстрая кристаллизация продуктов реакции. Рассмотреть в микроскоп и зарисовать образующиеся кристаллы. Стеклянные палочки после нанесения каждого реактива необходимо вымыть и протереть фильтровальной бумагой.

Реактивом на ион кальция служит 1 % H_2SO_4 . Хлорид кальция, содержащийся в вытяжке, реагирует с кислотой по уравнению

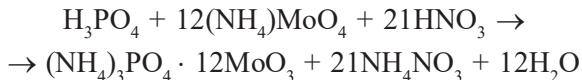


Образующийся гипс осаждается в виде игольчатых кристаллов.

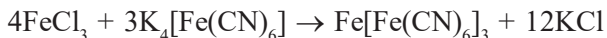
Для обнаружения магния к капле испытуемого раствора следует сначала добавить каплю раствора аммиака, а затем соединить каналцем с реактивом, которым служит 1 %-й раствор фосфорнокислого натрия. Образуется фосфорно-аммиачная соль, кристаллизующаяся в виде прямоугольников, крышек, звезд и крыльев в результате следующей реакции:



Для обнаружения фосфора соединить каплю вытяжки с 1 %-м раствором молибдата аммония в азотной кислоте. Получается зеленовато-желтый осадок фосфорно-молибденовокислого аммония:



Железо можно обнаружить с помощью раствора желтой кровяной соли. В результате реакции образуется берлинская лазурь:



Реакцию на железо рекомендуется проводить в пробирке: к остатку зольной вытяжки добавлять по каплям раствор желтой кровяной соли до появления синей окраски.

Результаты работы оформить в виде рисунков.

Сделать вывод о наличии определяемых элементов в золе.

3. Обнаружение нитратов в растении

Известно, что нитраты поглощаются корнями растений, и, прежде чем азот нитратов будет утилизирован в синтетических процессах, нитраты должны быть восстановлены. Процесс восстановления нитратов может происходить в корнях, листьях растений или в тех и других органах одновременно.

Ц е л ь р а б о т ы – определить локализацию процесса нитратредукции у изучаемых растений.

Х о д р а б о т ы. Поместить в фарфоровую ступку отдельно кусочки черешка и листовой пластинки выбранного растения. Размять эти кусочки стеклянной палочкой (палочку каждый раз споласкивать чистой водой и вытирать) и облить раствором дифениламина в концентрированной серной кислоте.

Для опыта взять черешковые листья растений 2–3 разных видов. Желательно также проанализировать растения одного вида, произраставшие в разных условиях (на солнце, в тени и т. п.). При взаимодействии нитрата с дифениламином в концентрированной серной кислоте образуется комплекс синего цвета. Отметить степень посинения гомогената тканей по условной пятибалльной шкале.

Результаты записать в табл. 17.

Сделать вывод о локализации нитратов и месте возможного их восстановления.

Т а б л и ц а 17

Вид растения	Условия произрастания	Степень посинения по пятибалльной шкале	
		Черешок	Листовая пластинка

Тестовые задания

1. Водная теория питания растений была предложена:
 - а) Ж. Сенебье;
 - б) Д. Пристли;
 - в) Я. Б. Ван-Гельмонтом;
 - г) В. Пфеффером.
2. Автор «гумусовой» теории питания растений:
 - а) Ван Гельмонт;
 - б) Ж. Б. Буссенго;
 - в) А. Тэер;
 - г) А. Т. Болотов.
3. Теория минерального питания сформулирована:
 - а) Н. Соссюром;
 - б) Ю. Либихом;
 - в) И. Кнопом;
 - г) Ю. Саксом.
4. Неподвижными (нереутилизируемыми) элементами являются:
 - а) калий;
 - б) фосфор;
 - в) кальций;
 - г) азот;
 - д) бор.
5. Подкормка минеральными элементами – это внесение удобрений:
 - а) предпосевное;
 - б) припосевное;
 - в) послепосевное.
6. Калий является:
 - а) абсолютно незаменимым элементом;
 - б) частично может заменяться органическими катионами;
 - в) частично может заменяться одновалентными катионами первой группы элементов таблицы Менделеева;
 - г) может заменяться только натрием у солончаковых растений.
7. Верхушки побегов отмирают при недостатке микроэлемента

8. Избыток макроэлемента_____ задерживает переход растений к цветению, листья становятся темно-зелеными, а при недостатке листья приобретают бледно-зеленую окраску.

9. Медь входит в состав фермента:

- а) аскорбатоксидаза;
- б) полифенолоксидаза;
- в) супероксиддисмутаза;
- г) цитохромоксидаза;
- д) во все перечисленные выше.

10. Процесс разложения органических азотистых соединений гетеротрофными микроорганизмами и превращения их в минеральную форму азота (NH_4) – это:

- а) денитрификация;
- б) аммонификация;
- в) азотфиксация;
- г) нитратредукция.

11. Аммонификаторы – это:

- а) ферменты, аминирующие органические кислоты;
- б) микроорганизмы, фиксирующие азот в аммонийной форме;
- в) микроорганизмы, разлагающие органические вещества почвы с выделением аммиака;
- г) растения, предпочитающие питание аммонийным азотом.

12. Условная граница между макроэлементами и микроэлементами определяется:

- а) концентрацией этих элементов в растении;
- б) относительным содержанием данных элементов в почве;
- в) наличием разных переносчиков на мембране;
- г) наличием ферментов, включающих эти элементы в метаболизм.

13. Восстановление нитритов до аммония в клетке осуществляется ферментом:

- а) нитрогеназой;
- б) нитроаминотрансферазой;
- в) нитритредуктазой;
- г) нитратредуктазой.

14. Биологическая азотфиксация – это процесс:
- а) связывания атмосферного азота корневыми волосками злаков;
 - б) связывания атмосферного азота пазушными листьями бобовых;
 - в) связывания атмосферного азота микроорганизмами;
 - г) связывания нитратного азота микроорганизмами.
15. Симптомом азотного голодания растения является:
- а) бледная окраска всей поверхности листа;
 - б) потемнение (ожог) края листовой пластинки;
 - в) отсутствие пазушных почек;
 - г) уродливое развитие генеративных частей растения.
16. В состав каталитических центров многих окислительно-восстановительных ферментов (цитохромов, каталазы, пероксидазы) входит:
- а) калий;
 - б) кальций;
 - в) фосфор;
 - г) железо.
17. Кобальт входит в состав витамина B_{12} , который необходим для осуществления процесса фиксации молекулярного азота. Наиболее чувствительным растением к недостатку кобальта является:
- а) пшеница;
 - б) свекла;
 - в) табак;
 - г) вика.
18. К микроудобрениям относятся:
- а) небольшие количества обычных удобрений;
 - б) удобрения, содержащие микроорганизмы;
 - в) удобрения, включающие макро- и микроэлементы;
 - г) удобрения, содержащие золу.
19. Денитрификаторы – это:
- а) микроорганизмы, восстанавливающие нитраты до молекулярного азота;
 - б) ферменты, восстанавливающие нитраты в растениях;
 - в) растения, предпочитающие нитратный азот;

г) ферменты-переносчики, одновременно восстанавливающие нитраты и транспортирующие азот в клетку.

20. Закон минимума Ю. Либиха постулирует, что:

а) растениям достаточно минимального набора элементов питания;

б) урожай в первую очередь зависит от элемента питания, содержание которого минимально в почве;

в) в результате хозяйственной деятельности содержание элементов минерального питания стремится к минимуму;

г) внесение минимального количества азота дает максимальный рост урожая.

21. Восстановление нитратов до аммония в растениях осуществляется:

а) нитрогеназой;

б) нитритредуктазой;

в) нитратредуктазой;

г) биферментным комплексом нитратредуктазы и нитритредуктазы.

22. Симптомом фосфорного голодания растений является:

а) синевато-зеленая окраска всей листовой пластинки;

б) упрощение формы листьев (ювенилизация);

в) нарушение структуры проводящих пучков листьев;

г) деструкция митохондрий.

23. Признаком недостатка калия является:

а) резкое уменьшение размеров молодых листьев;

б) пожелтение листьев с краев (ржавые пятна);

в) опускание листьев;

г) усыхание точек роста.

24. В состав каталитических центров полифенолоксидазы и аскорбатоксидазы входит:

а) железо;

б) цинк;

в) медь;

г) хром.

25. Признаком недостатка бора является:

а) резкое уменьшение размеров молодых листьев;

б) пожелтение листьев с краев (ржавые пятна);

в) опускание листьев;

г) отмирание конусов нарастания.

26. Почвенный поглощающий комплекс – это:

а) сообщество микроорганизмов, ассоциированных с корнями растений;

б) частицы почвы, механически и физико-химически удерживающие ионы элементов минерального питания;

в) подземная часть растений, активно поглощающая воду и элементы питания;

г) полимерные добавки к удобрениям, снижающие подвижность элементов мембран.

27. Наиболее чувствительны к недостатку фосфора растения:

а) на стадии покоя семян;

б) ранних этапах роста и развития;

в) репродуктивном этапе развития;

г) этапе старости и отмирания.

28. Гормон, необходимый для формирования корней в культуре тканей:

а) только АБК;

б) ИУК и цитокинины;

в) только цитокинины;

г) только гиббереллины.

29. В состав нитратредуктазы входят (выберите правильные ответы):

а) железо;

б) цинк;

в) кобальт;

г) молибден.

30. Физиологическая роль магния:

а) входит в состав каротиноидов;

б) активирует нитратредуктазу;

в) является кофактором ферментов, катализирующих перенос фосфатных групп;

г) инактивирует некоторые ингибиторы ферментативных реакций.

31. Фермент, с помощью которого микроорганизмы способны ассимилировать молекулярный азот путем восстановления его до аммиака:

- а) нитратредуктаза;
- б) нитрогеназа;
- в) нитритредуктаза;
- г) нитрозоаминотрансфераза.

32. Большое количество нитратов в тканях накапливается при недостатке микроэлемента:

- а) хлора;
- б) кобальта;
- в) молибдена;
- г) цинка.

33. Установите соответствие между названиями процессов (1–5) и названиями ферментов, которые их катализируют (а–д):

<i>Названия процессов</i>	<i>Названия ферментов</i>
1) фиксация атмосферного азота	а) нитратредуктаза
2) восстановление нитратов	б) глутаминсинтетаза
3) образование глутамата из NH_3 и 2-оксоглутарата	в) нитрогеназа
4) образование глутамата из глутамина и 2-оксоглутарата	г) глутаматдегидрогеназа
5) аминирование глутамата	д) глутаматсинтаза

34. Укажите конечные продукты следующих процессов:

- а) нитритредукция – _____
- б) фиксация азота – _____
- в) нитрификация – _____
- г) денитрификация – _____.

35. Укажите конечные продукты следующих процессов:

- а) диссимилиационная сульфатредукция – _____
- б) сероредукция – _____
- в) ассимиляционная сульфатредукция – _____
- г) окисление сероводорода – _____.

6. ПРЕВРАЩЕНИЕ ЗАПАСНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В РАСТЕНИИ

При прорастании семена поглощают большое количество воды сначала за счет набухания, а затем путем осмотического всасывания. Вода необходима для создания среды для протекания метаболических процессов в клетках зародыша и эндосперма или других запасующих тканей зародыша. В сухих семенах сложные соединения, такие как крахмал, жиры, белки, являются иммобилизованными. Для их метаболизации необходима активация метаболизма. Продукты биохимических превращений запасных веществ – растворимые сахара, органические кислоты, аминокислоты – транспортируются к точкам роста, которые играют роль аттрагирующих центров.

В набухших семенах при наличии кислорода и при достижении оптимальной температуры резко повышается активность гидролаз. Происходит это как путем перехода ферментов из связанного состояния в свободное, так и благодаря биосинтезу новых молекул. Первые этапы превращения жиров в углеводы протекают в олеосомах, глиоксисомах; цикл трикарбоновых кислот – в митохондриях; последующие этапы – в цитоплазме. Глиоксилатный цикл активно функционирует в семенах масличных культур. Образующиеся при распаде крахмала и жиров сахара, легко растворяясь в воде, транспортируются к местам потребления и используются на рост и дыхание, интенсивность которого в прорастающих семенах резко возрастает.

Запасные белки семян подвергаются гидролизу до аминокислот. Образующиеся аминокислоты передвигаются к точкам роста и используются на синтез специфичных белков во вновь формируемых клетках. Аминокислотный состав этих белков резко отличается от состава запасных белков.

Часть аминокислот, образующихся при гидролизе запасных белков, дезаминируется с образованием органических кислот и аммиака. Как установлено исследованиями Д. Н. Прянишников-

ва, в прорастающих семенах аммиак обезвреживается, включаясь в состав аспарагина. Образующийся аспарагин может служить донором аминокрупп для последующего синтеза других аминокислот. Таким образом, если содержание безазотистых веществ при прорастании семян резко снижается из-за их расхода на дыхание, то суммарное количество азотистых соединений остается практически постоянным.

Лабораторная работа 10

1. Выделение запасных белков и изучение их свойств

Белки – важнейшие компоненты всех живых клеток. Макромолекулы белка имеют молекулярную массу от 10 000 до нескольких миллионов и состоят из одной или нескольких полипептидных цепей, построенных из большого количества аминокислотных остатков. По своей растворимости белки делятся на четыре группы: 1) альбумины – растворимые в воде; 2) глобулины – растворимые в слабых растворах нейтральных солей; 3) проламины – растворимые в 60–80 % этиловом спирте; 4) глютелины – растворимые в слабых растворах щелочей. Белки – гидрофильные вещества: каждая молекула белка удерживает тысячи и десятки тысяч молекул воды. Дегидратация белков приводит к их коагуляции.

Ц е л ь р а б о т ы – изучить свойства запасных белков семян гороха, определить, к какой группе в соответствии с растворимостью относятся эти белки.

Х о д р а б о т ы. Взвесить на листе кальки 5 г гороховой муки, перенести навеску в колбу и залить 30 мл 10 % раствора $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Взбалтывать смесь в течение 3 мин, затем дать отстояться. Через 30 мин профильтровать через складчатый бумажный фильтр, смоченный раствором сульфата аммония. Полученный прозрачный раствор белков разлить в пробирки по 2–3 мл. Выполнить следующие реакции:

1. Осаждение белка. К раствору белка прилить избыток воды. Появится муть вследствие нерастворимости данного белка в воде. Добавить в пробирку раствор $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Исчезнет ли муть?

2. Нагреть раствор белка до кипения. Растворится ли осадок после охлаждения?

3. Высаливание белка. Добавить в пробирку с раствором белка сухую поваренную соль до появления мути, затем прилить воды. Перейдет ли осадок в раствор?

4. Добавить к раствору белка по каплям концентрированную HNO_3 (реакцию проводить под тягой) до выпадения осадка. Растворится ли осадок после добавления раствора $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$?

Ответить на вопросы. Объяснить наблюдаемые явления. Сделать выводы в соответствии с целью работы.

2. Обнаружение амилазы в прорастающих семенах

При прорастании семян злаков мобилизуются их запасные вещества. Этот процесс происходит при участии гидролитических ферментов, в частности, амилазы, расщепляющей крахмал – основное запасное вещество зерновки. Ферменты могут действовать не только в той клетке, которая их вырабатывает, но и вне ее, перемещаясь в другие клетки или выделяясь во внешнюю среду. Так, амилаза может высвобождаться из клеток запасующей ткани зерновки и расщеплять экзогенный крахмал. Для быстрого выделения ферментов из клетки семян злаков можно нарушить целостность покровов семени, например, семенной кожуры и околоплодника зерновки (например, разрезать ее), поскольку они препятствуют диффузии фермента во внешнюю среду.

В клетках зерновок у злаков встречаются две амилазы: α -амилаза, вызывающая распад молекул крахмала на крупные фрагменты – декстрины, и β -амилаза, которая отщепляет от крахмала концевые участки мальтозы. В сухих семенах содержится только α -амилаза, причем почти вся она связана с белками. При прорастании вся α -амилаза переходит из связанного состояния в свободное. Кроме того, происходит активация генов β -амилазы и индуцируется ее синтез.

Ц е л ь р а б о т ы – сравнить амилазную активность проросших и непроросших семян злаков.

Х о д р а б о т ы. Несколько непроросших зерновок разрезать пополам, слегка смочить водой и разложить на одной половине

пластинки из крахмального агара в чашке Петри поверхностью разреза вниз, не вдавливая семена в пластинку. На другую половину агаровой пластинки поместить разрезанные проросшие семена (желательно оставить на некоторых проросших семенах корешки). Закрыть чашку Петри крышкой, чтобы крахмальный агар не подсыхал. Через час осторожно снять семена и окрасить всю поверхность крахмального агара слабым раствором люголя. Отметить результат и ответить на следующие вопросы:

1. Какое действие семена оказали на крахмальный агар?
2. Почему проросшие и непроросшие семена оказали неодинаковое действие?

Сделать вывод.

3. Превращение веществ при прорастании семян горчицы

Семена всех растений содержат большое количество запасных питательных веществ – белков, жиров, углеводов и др. В семенах одних растений жиры преобладают над углеводами (маслянистые семена), у других, например у злаков, основным веществом служит крахмал (крахмалистые семена). При прорастании семян сложные запасные вещества при участии ферментов превращаются в более простые, которые используются в процессе роста и дыхания.

Для того чтобы установить, каким превращениям подвергаются запасные питательные вещества при прорастании, нужно сопоставить химический состав непроросших и проросших семян или проростков, выросших из этих семян. Для этой работы проращивание проводить в темноте, чтобы исключить образование новых органических веществ в процессе фотосинтеза.

Ход работы. Сухие и прорастающие семена пшеницы и горчицы очистить от кожуры, измельчить в ступках пестиком. Поместить материал в разные пробирки, залить небольшим количеством воды, нагреть их на кипящей водяной бане. Слить вытяжки в чистые пробирки, прилить равный объем фелинговой жидкости и довести до кипения. По количеству образовавшегося Cu_2O дать оценку содержания редуцирующих сахаров. К оставшемуся

в пробирке материалу прилить раствор йода и по интенсивности посинения оценить содержание крахмала в семенах.

Сделать тонкие срезы непроросших и проросших семян, поместить их на предметное стекло в капли раствора красителя судан III, закрыть покровными стеклами. Через 5 мин промыть срезы водой, рассмотреть в микроскоп и оценить содержание жира по количеству и размерам липидных капель, окрашенных в красный и оранжевый цвет.

Для микроскопирования крахмальных зерен из разрезанных вдоль семян взять препаровальной иглой крупинку вблизи зародыша, растереть в капле воды на предметном стекле, рассмотреть при большом увеличении. Зарисовать крахмальные зерна (у проросших семян в разных стадиях разрушения).

Записать результаты в табл. 18, оценивая содержание крахмала, редуцирующих сахаров и жиров по пятибалльной шкале.

Сделать вывод о превращении углеводов и жиров при прорастании крахмалистых и маслянистых семян. Записать реакции превращения липидов в углеводы.

Т а б л и ц а 18

Семена	Крахмал	Редуцирующие сахара	Жиры
Крахмалистые сухие			
Крахмалистые проросшие			
Маслянистые сухие			
Маслянистые проросшие			

Тестовые задания

1. Синтез крахмала при фотосинтезе осуществляется:
 - а) в строме хлоропласта;
 - б) тилакоидах хлоропласта;
 - в) цитоплазме;

- г) аппарате Гольджи;
- д) матриксе митохондрий.

2. Глютелины – это белки:

- а) растворимые в воде;
- б) растворимые в этиловом спирте;
- в) растворимые в слабых растворах нейтральных солей;
- г) растворимые в щелочах.

3. Альбумины – это белки:

- а) растворимые в воде;
- б) растворимые в этиловом спирте;
- в) растворимые в слабых растворах нейтральных солей;
- г) растворимые в щелочах.

4. Глобулины – это белки:

- а) растворимые в воде;
- б) растворимые в этиловом спирте;
- в) растворимые в слабых растворах нейтральных солей;
- г) растворимые в щелочах.

5. Проламины – это белки:

- а) растворимые в воде;
- б) растворимые в этиловом спирте;
- в) растворимые в слабых растворах нейтральных солей;
- г) растворимые в щелочах.

6. Амилоза состоит:

- а) из двух молекул α -глюкозы, соединенных α -1,4-связью;
- б) из большого количества молекул α -глюкозы, соединенных α -1,4-связью;
- в) из большого количества молекул α -глюкозы, соединенных α -1,4 и α -1,6-связями;
- г) из молекул α -глюкозы и β -фруктозы, соединенных β -фруктозидной связью.

7. α -Амилаза – это фермент, катализирующий:

- а) гидролиз внутренних α -1,4-связей в молекуле крахмала;
- б) гидролиз α -1,4-связей в молекуле крахмала с нередуцирующего конца с отщеплением остатка мальтозы;
- в) гидролиз α -1,6-связей в молекуле крахмала;

г) гидролиз внешних α -1,4-связей в молекуле крахмала с нередуцирующего конца с отщеплением остатка глюкозы.

8. β -Амилаза – это фермент, катализирующий:

- а) гидролиз внутренних α -1,4-связей в молекуле крахмала;
- б) гидролиз внешних α -1,4-связей в молекуле крахмала с нередуцирующего конца с отщеплением остатка глюкозы;
- в) гидролиз α -1,6-связей в молекуле крахмала;
- г) гидролиз α -1,4-связей в молекуле крахмала с нередуцирующего конца с отщеплением остатка мальтозы.

9. γ -Амилаза – это фермент, катализирующий:

- а) гидролиз внутренних α -1,4-связей в молекуле крахмала;
- б) гидролиз внешних α -1,4-связей в молекуле крахмала с нередуцирующего конца с отщеплением остатка глюкозы;
- в) гидролиз α -1,6-связей в молекуле крахмала;
- г) гидролиз внешних α -1,4-связей в молекуле крахмала с нередуцирующего конца с отщеплением остатка мальтозы.

10. Полисахаридом, состоящим из остатков фруктозы, является:

- а) целлюлоза;
- б) инулин;
- в) гликоген;
- г) декстран;
- д) хитин.

11. Амилопектин состоит:

- а) из двух молекул α -глюкозы, соединенных α -1,4-связью;
- б) из большого количества молекул α -глюкозы, соединенных α -1,6-связью;
- в) из большого количества молекул α -глюкозы, соединенных α -1,4 и α -1,6-связями;
- г) из молекул α -глюкозы и β -фруктозы, соединенных β -фруктозидной связью.

12. Продукты, образующиеся при переаминировании пировиноградной кислоты глутаминовой:

- а) оксалоацетат и серин;
- б) 2-оксоглутарат и глицин;
- в) 2-оксоглутарат и аланин.

13. Продукты, образующиеся при переаминировании щавелево-уксусной кислоты аланином:

- а) фенилпировиноградная и аспарагиновая кислоты;
- б) глутаминовая и пировиноградная кислоты;
- в) аспарагиновая и пировиноградная кислоты.

14. Ненасыщенные жирные кислоты:

- а) имеют высокую температуру плавления и обеспечивают твердую консистенцию жиров;
- б) имеют низкую температуру плавления и обеспечивают жидкую консистенцию жиров;
- в) не влияют на консистенцию жиров.

15. Насыщенные жирные кислоты:

- а) имеют высокую температуру плавления и обеспечивают твердую консистенцию жиров;
- б) имеют низкую температуру плавления и обеспечивают жидкую консистенцию жиров;
- в) не влияют на консистенцию жиров.

7. ТРАНСПИРАЦИЯ И ВОДООБМЕН РАСТЕНИЙ

Транспирация – физиологический процесс испарения воды растением. Основным органом, через которое растение осуществляет транспирацию, является лист. Увеличение поверхности листовой пластинки способствует облегчению поглощения CO_2 , оптимальному улавливанию солнечного света, создает большую поверхность для испарения воды.

Испарение воды с поверхности листовой пластинки осуществляется двумя путями: непосредственно с поверхности листьев (кутикулярная транспирация) и через специализированные образования – устьица (устьичная транспирация). Кутикулярная транспирация составляет около 10 % от общей потери воды листом. Однако у растений, листья которых характеризуются слабым развитием кутикулы, доля этого вида транспирации может повышаться до 30 %. Для газообмена листа с атмосферой имеются поры – устьица. Устьице – это отверстие (щель), ограниченное двумя замыкающими клетками, которое соединяет внутреннее пространство листа с внешней средой. Устьичная транспирация составляет 80–90 % от всего испарения с поверхности листа. Поэтому степень открытости устьиц является основным механизмом, регулирующим интенсивность транспирации. У древесных растений испарение воды может осуществляться через чечевички (лентиккулярная транспирация).

В результате потери воды клетками в них снижается водный потенциал и возрастает сосущая сила. Это приводит к усилению поглощения клетками мезофилла воды из сосудов ксилемы и увеличивает ток воды по ксилеме из корней в наземные органы. Таким образом, формируется верхний концевой двигатель. Сила верхнего концевой двигателя возрастает при увеличении интенсивности транспирации.

Транспирация выполняет важные функции в организме растения, например, обеспечивает терморегуляцию. Температура интенсивно транспирирующего листа ниже температуры нетранспирирующего листа. Транспирация создает непрерывный ток воды из корневой системы к листьям, который связывает все органы растения в единое целое. С транспирационным током передвигаются растворимые минеральные и частично органические питательные вещества, например, аминокислоты, фитогормоны. Чем интенсивнее транспирация, тем быстрее идет этот процесс. Транспирация ускоряет пассивный процесс поступления в клетку некоторых питательных веществ.

Лабораторная работа 11

1. Сравнение транспирации верхней и нижней стороны листа хлоркобальтовым методом (по Шталю)

Метод хлоркобальтовой пробы основан на изменении цвета фильтровальной бумаги, пропитанной хлористым кобальтом, при поглощении паров воды, испаряемых с поверхности листа. По времени, необходимому для перехода окраски хлоркобальтовой бумаги из голубой (цвет сухого CoCl_2) в розовую (цвет $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), судят о скорости и интенсивности транспирации растений.

Ц е л ь р а б о т ы – сравнить транспирацию воды с верхней и нижней стороны листа и выяснить причины их неодинаковой транспирации.

Х о д р а б о т ы. Для работы использовать растение в горшке с хорошо увлажненной почвой. Хлоркобальтовую бумагу на полиэтиленовой подложке приложить к верхней и нижней стороне листа. Укрепить подложку канцелярскими скрепками. Пронаблюдать, через какое время порозовеет бумага на верхней и нижней стороне листа. По времени порозовения определить, с какой стороны листа испарение идет быстрее.

По окончании работы рассмотреть под микроскопом эпидермис верхней и нижней стороны листа, подсчитать количество

устийц в поле зрения микроскопа (3–5 полей зрения на трех препаратах каждого варианта) и вычислить среднее значение. Зарисовать эпидермис верхней и нижней стороны листа.

Результаты записать в табл. 19.

Т а б л и ц а 19

Сторона листа	Время наблюдения		Время порозовения бумаги, мин	Число устьиц в поле зрения
	Начало опыта	Конец опыта		
Верхняя				
Нижняя				

Сделать выводы о причинах различной интенсивности транспирации верхней и нижней стороны листа данного растения и о соотношении устьичной и кутикулярной транспирации.

2. Определение интенсивности транспирации и относительной транспирации с помощью технических весов

Интенсивность транспирации – это количество воды, испаренное с единицы листовой поверхности в единицу времени. Величина зависит от напряженности внешних факторов, времени суток и колеблется в среднем в пределах $15\text{--}250 \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$.

Основной метод определения транспирации – весовой, основанный на учете потери воды при испарении. Этим методом можно выявить транспирацию отдельных частей и целого растения. Чаще работают со срезанными побегами или листьями. Для того чтобы во время опыта оводненность тканей не снижалась, их помещают в прибор Веске (U-образная трубка), заполненный водой.

Относительная транспирация – это отношение интенсивности транспирации к интенсивности испарения со свободной водной поверхности при тех же условиях. Этот показатель характеризует способность растений регулировать транспирацию и выражается обычно цифрами $0,1\text{--}0,5$, достигая иногда значения 1 и снижаясь у некоторых хорошо защищенных от потери воды листьев до $0,01$ и ниже.

Ц е л ь р а б о т ы – определить интенсивность транспирации листьев на свету и в темноте, объяснить наблюдаемые отличия.

Х о д р а б о т ы. С растения срезают лист вместе с черешком. Черешок плотно укрепляют ваткой в отверстии пробки. Нижний конец черешка подрезать наискось примерно на 1 см, обязательно под водой, для восстановления водных нитей в проводящих сосудах. Вставить пробку с листом в прибор Веске, наполненный водой комнатной температуры так, чтобы черешок листа был погружен в воду. Смонтированный прибор Веске должен быть совершенно сухим, плотно закрытым; пробка не должна касаться воды, а черешок листа должен быть погружен в воду. Подготовить таким образом два прибора Веске, взвесить их на технических весах и, снабдив этикетками, поместить один в темную камеру, другой – на прямой свет. Через 1 ч взвесить сосуды повторно. По разнице первоначальной и конечной массы установить количество воды, которое испарил лист за время опыта. На основании полученных данных рассчитать интенсивность транспирации. Для этого определить площадь листа, взятого для опыта, весовым методом. Вырезать из бумаги квадрат размером 100 см^2 ($10 \times 10\text{ см}$) и взвесить. На другой листок такой же бумаги положить лист растения, тщательно обвести его контуры остро отточенным карандашом, затем вырезать контур листа и также взвесить. Из полученных данных составить пропорцию и найти площадь листа. Если квадрат бумаги в 100 см^2 имеет массу $A\text{ г}$, а контур листа – $B\text{ г}$, то площадь листа будет

$$S = (100 \cdot B)/A$$

Интенсивность транспирации ($\text{г/м}^2 \cdot \text{ч}$) рассчитывают по формуле

$$I = (10\,000 \cdot C)/(S \cdot t),$$

где C – убыль в массе за время опыта, г; S – площадь листа, см^2 ; t – продолжительность опыта, ч.

Результаты опыта записать в табл. 20.

Сделать вывод о величине транспирации на свету и в темноте. Объяснить причины неодинаковой интенсивности транспирации.

Т а б л и ц а 20

Условия опыта	Транспирация			Интенсивность транспирации, $\text{г/м}^2 \cdot \text{ч}$
	Масса прибора в начале опыта, г	Масса прибора в конце опыта, г	Убыль в массе листа, г	

3. Определение интенсивности транспирации у срезанных листьев по Л. А. Иванову (метод быстрого взвешивания)

Метод основан на учете изменения массы срезанного листа за короткие промежутки времени, что дает возможность наблюдать транспирацию при том состоянии насыщенности листа водой, в каком он находился на растении.

Интервал между взвешиваниями не должен превышать 5 мин, так как при более длительной экспозиции уменьшается содержание воды в листе и интенсивность транспирации снижается. Для быстрого взвешивания удобно пользоваться торсионными или электронными весами.

Ц е л ь р а б о т ы – определить интенсивность транспирации изолированных листьев при комнатных условиях и при обдувании теплым сухим воздухом (при помощи фена).

Х о д р а б о т ы. Правильно установить весы. Срезать лист, быстро взвесить. Через 5 мин лист взвесить повторно. Выполнить эксперимент в 10-кратной повторности (используя листья одного и того же яруса с 10 разных растений). Убыль массы листа за время между первым и вторым взвешиванием показывает, сколько воды испарилось за этот период. Все расчеты проводят по суммарной массе десяти листьев каждого варианта. Рассчитать количество воды, испарившейся из 1 г сырых листьев за 1 ч. Определить интенсивность транспирации в комнатных условиях (контроль) и при обдувании сухим теплым воздухом.

Результаты опыта записать в табл. 21.

Т а б л и ц а 21

Вариант	Масса листьев, мг										Сум- марная масса 10 листьев, мг	Сум- марная потеря воды, мг	Интен- сив- ность транс- пира- ции, мг/г · ч
	Повторность												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
Контроль:													
– сразу													
– через 5 мин													
Сухой теплый воздух:													
– сразу													
– через 5 мин													

Сделать выводы.

Тестовые задания

1. Транспирация преимущественно идет через листья:

- а) из-за наличия устьиц;
- б) прозрачности эпидермиса;
- в) листорасположения;
- г) наличия жилок;
- д) большой поверхности.

2. Транспирация снижается:

- а) при уменьшении водного потенциала в листьях;
- б) уменьшении осмотического потенциала клеток листа;
- в) наличии ветра;
- г) увеличении поверхности листьев;
- д) увеличении водного потенциала клеток листа.

3. Транспирационный коэффициент посева, испарившего за вегетационный период 5 т воды и накопившего за это время 10 кг сухого вещества, составляет:

- а) 5000;
- б) 500;
- в) 50;
- г) 0,002;
- д) 2.

4. Растение, площадь листьев которого 10 см^2 , испарило за 2 ч 10 г воды. Интенсивность его транспирации составляет:

- а) $0,5 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$;
- б) $0,5 \text{ г/дм}^2 \cdot \text{ч}$;
- в) $50 \text{ г/дм}^2 \cdot \text{ч}$;
- г) $1 \text{ г/дм}^2 \cdot \text{ч}$;
- д) $1 \text{ г/см}^2 \cdot \text{ч}$.

5. Путь воды по тканям корня:

- а) ризодерма–кора–эндодерма–перицикл–ксилема;
- б) ризодерма–эндодерма–флоэма;
- в) ризодерма–кора–перицикл–эндодерма–ксилема;
- г) ризодерма–эндодерма–коровая паренхима–ксилема.

6. Вода в корне передвигается:

- а) по симпласту, за исключением клеток эндодермы;
- б) только симпластно;
- в) только апопластно;
- г) в основном по апопласту, кроме клеток эндодермы;
- д) только вакуолярным путем.

7. Вода по сосудам стволов древесных растений поднимается на высоту более 10 м за счет:

- а) корневого давления;
- б) транспирации;
- в) когезии и адгезии;
- г) только адгезии;
- д) только когезии.

8. Гуттации способствует:

- а) высокая положительная температура;

- б) открывание устьиц;
- в) высокая влажность воздуха;
- г) снижение осмотического давления тканей;
- д) низкие положительные ночные температуры.

9. При недостатке влаги в почве интенсивность транспирации:

- а) верхних листьев меньше, чем нижних;
- б) верхних листьев больше, чем нижних;
- в) одинакова у верхних и нижних листьев;
- г) зависит от размеров листьев.

10. Ксероморфная структура листьев характеризуется:

- а) мелкими клетками, большой поверхностью;
- б) крупными клетками, малой поверхностью;
- в) крупными клетками, большой поверхностью;
- г) мелкими клетками, малой поверхностью.

11. Сильным развитием механических тканей характеризуются ксерофиты из группы:

- а) эуксерофитов;
- б) эфемеров;
- в) суккулентов;
- г) гемиксерофитов;
- д) ксеромезофитов.

12. Воду в тканях накапливают:

- а) эуксерофиты и суккуленты;
- б) эфемеры и эуксерофиты;
- в) эфемеры и суккуленты;
- г) суккуленты;
- д) эфемеры;
- е) эуксерофиты.

13. Выберите из предложенного перечня верные утверждения:

- а) поступление воды в клетку через аквапорины клеточных мембран является активным транспортом;
- б) у растительных клеток аквапорины обнаружены только в плазмалемме;
- в) аквапорины имеются в клетках всех живых организмов;
- г) аквапорины отличаются абсолютной специфичностью по отношению к воде;

д) аквапорины способны пропускать воду в обоих направлениях;
е) аквапорины – это белки, молекулы которых представляют собой тетрамеры.

14. Количество воды, испаренное с единицы листовой поверхности в единицу времени, называется:

- а) продуктивностью транспирации;
- б) транспирационным коэффициентом;
- в) интенсивностью транспирации.

15. Содержание воды в исходной ткани в процентах к содержанию воды в насыщенном листе называется:

- а) степенью оводненности;
- б) водоемкостью;
- в) водообеспечением;
- г) водным дефицитом.

16. Содержание воды в 100 г насыщенной водой ткани, называется:

- а) степенью оводненности;
- б) водоемкостью;
- в) водообеспечением;
- г) водным дефицитом.

17. Количество воды, расходуемое растением на создание единицы массы сухого вещества, называется:

- а) продуктивностью транспирации;
- б) транспирационным коэффициентом;
- в) интенсивностью транспирации.

18. У хорошо облиственных растений присасывающая сила транспирации:

- а) превосходит силу корневого давления;
- б) примерно равна силе корневого давления;
- в) уступает силе корневого давления.

19. Процесс связывания (сцепления) молекул воды между собой называется:

- а) когезией;
- б) адгезией;
- в) поверхностным натяжением.

8. РОСТ И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ

Рост и развитие – фундаментальные функции живого. Данные процессы являются составляющими онтогенеза. В строгом понимании онтогенез или индивидуальное развитие организмов – это совокупность процессов роста и развития организма от зиготы или вегетативного зачатка до естественной смерти.

Поскольку онтогенез растений осуществляется продолжительное время, его принято периодизировать или подразделять на этапы. Наиболее простая периодизация онтогенеза – выделение вегетативной и генеративной фаз. Однако она очень проста, поскольку построена на одном принципиальном отличии – способности растения участвовать в половом размножении. Чаще используется более дробная периодизация, включающая этапы: эмбриональный, ювенильный, зрелости, старения и смерти. Каждый из них характеризуется особыми событиями в жизни растения, неодинаков по продолжительности. Так, эмбриональный этап начинается с момента образования зиготы и длится до завершения формирования зрелого зародыша. Особенность этого этапа в том, что эмбриогенез нового организма осуществляется в пределах материнского. Ювенильный этап начинается с прорастания семени и заканчивается закладкой генеративных органов. Этот этап характеризуется интенсивным ростом вегетативной массы растений. На этапе зрелости происходят развитие генеративных органов растения, цветение, опыление и оплодотворение. Старение организма начинается с момента плодоношения. Имеется много особенностей прохождения фаз или этапов онтогенеза у однолетних и многолетних, монокарпических и поликарпических растений.

Рост и развитие растений – наиболее интегральные проявления жизнедеятельности растения. Рост – это необратимые количественные изменения, сопровождающие онтогенез. Термином «развитие» обозначают качественные изменения организма или его отдельных органов или клеток. В отношении развития клеток и тканей

принято использовать термин «дифференцировка». Процессы изменения структуры и формы тканей, органов, целого растения в онтогенезе принято называть морфогенезом.

Рост растений имеет ряд отличий от роста животных: он строго локализован в зонах роста – меристемах; осуществляется на протяжении всей жизни растения, т. е. не детерминирован, хотя рост отдельных клеток или органов растения может быть ограничен; хорошо выражен рост растяжением клеток; отсутствует миграция клеток в процессе роста органов и тканей.

Показателями роста являются увеличение линейных и объемных размеров растений и их частей; биомассы целого растения или его отдельных частей; числа органов, клеток и органоидов в клетках. Рост можно измерить и охарактеризовать количественно. Такими показателями роста являются абсолютная и относительная скорость роста. Используют также графическое выражение роста в виде кривой Сакса (график зависимости величины показателя роста во времени).

Рост растений осуществляется за счет двух механизмов – деления клеток и их растяжения. Деление клеток осуществляется в апикальных, латеральных или интеркалярных меристемах, регулируется фитогормонами, главным образом цитокининами и ауксинами, точнее их соотношением, циклинами и циклинзависимыми протеинкиназами. Растяжение клеток – ауксинзависимый процесс.

Рост растений характеризуется неодинаковыми темпами на разных этапах онтогенеза растения. Рост растений генетически и экологически обусловлен и является, наряду с фотосинтезом и дыханием, основой продукционного процесса растений.

В основе развития лежит механизм дифференциальной экспрессии генов. В каждый момент времени в клетках экспрессируется не более 10–15 % генов. Гены «домашнего хозяйства» экспрессируются в разных типах клеток. Экспрессия других генов ткане- и времеспецифична (стадиеспецифична). Регуляция дифференциальной активности генов осуществляется на всех этапах: транскрипции, процессинга, трансляции и посттрансляционной модификации белков. Важнейшими эндогенными регуляторами экспрессии

являются фитогормоны, которые запускают пути трансдукции сигналов и действуют на гены через факторы регуляции транскрипции.

Фитогормоны или природные регуляторы роста растений – это соединения, которые образуются в процессе метаболизма и оказывают регуляторное влияние на физиологические процессы в очень малых концентрациях. Фитогормоны транспортируются по растению, синтезируясь в одних органах и действуя на другие. Их влияние, таким образом, носит дистанционный характер. Большинство физиологических процессов (рост, формообразование, развитие) регулируется гормонами. Гормоны играют ведущую роль в адаптации растений к условиям среды. Известны следующие основные группы фитогормонов: ауксины, гиббереллины, цитокинины, абсцизовая кислота, этилен, брассиностероиды. В рецепции и передаче гормонального сигнала участвуют мембранные и цитозольные белки.

Рецепторы специфически связываются с фитогормоном, меняют свою конфигурацию с образованием гормонрецепторного комплекса. Гормонрецепторный комплекс передает гормональный сигнал, необходимый для запуска ответной физиологической реакции.

Другие важные регуляторы развития – эпигенетические факторы, микроРНК, позиционная информация, полярность клеток, факторы внешней среды.

Полярность – неотъемлемое свойство живых систем, обуславливает ориентацию процессов морфогенеза растений в пространстве. Главным фактором полярного роста растений является полярный транспорт ИУК, который зависит от распределения ионов Ca^{2+} в клетках и тканях.

Дифференцированные клетки разных тканей различаются по структуре и выполняемым функциям. Значительная часть дифференцированных клеток растений способна к дедифференцировке и последующей пролиферации, в результате чего могут образовываться каллусы, состоящие из неорганизованных клеток. При изменении гормонального фона среды, на которой растут каллусы, в них может происходить образование эмбриоидов или иных полярных структур, развитие которых приводит к регенерации целого растения. Таким образом, растительные клетки проявляют свойство тотипотентности.

Лабораторная работа 12

1. Рост листьев ячменя в онтогенезе

Ц е л ь р а б о т ы – провести количественное описание роста первого листа растений ячменя, рассчитать скорость роста.

Х о д р а б о т ы. У растений ячменя 3, 4, 5, 7, 9, 12 и 14-дневного возраста измерить длину первого листа от основания листовой пластинки до верхушки. Данные занести в табл. 22.

Т а б л и ц а 22

Возраст растения, дни	3	4	5	7	9	12	14
Длина листа, см							
$V_{\text{абс}}$	–						
$V_{\text{отн}}$	–						

Используя полученные данные, постройте кривую роста первого листа ячменя. Выделите на графике лаг-фазу, фазу экспоненциального роста, фазу замедленного роста, стационарную фазу.

Рассчитайте абсолютную и относительную скорость роста листовой пластинки на разных фазах роста листа по формулам

$$V_{\text{абс}} = (L2 - L1)/(T2 - T1),$$

$$V_{\text{отн}} = V_{\text{абс}} / ((L1 + L2)/2),$$

где $L1$ и $L2$ – значения длины листа в начальной и конечной точках определения; $T1$ и $T2$ – начальная и конечная точки времени между измерениями.

Полученные результаты занесите в табл. 22.

Постройте график изменения абсолютной и относительной скорости роста в онтогенезе листа ячменя.

2. Характеристика клеток мезофилла листа на разных стадиях его развития

Ц е л ь р а б о т ы – изучить особенности строения мезофилльных клеток листа однодольных растений в онтогенезе.

Х о д р а б о т ы. Первый лист 7–8-дневных проростков ячменя длиной 11–12 см аккуратно отделяют от семени и колеоптиле, извлекают второй лист. Для получения необходимого объема тканей нужно приготовить 10–15 листьев. Изолированные листья размещают на препаровальном стекле. Поскольку первый лист злаков растет за счет деятельности базальной меристемы, в листе формируется градиент разновозрастных клеток: у основания листа – самые молодые, у верхушки – зрелые. Листья разрезают на фрагменты I, II и III по схеме:



I – 3–4 мм от основания, соответствует зоне меристематических клеток;

II – 10–20 мм от основания, соответствует зоне интенсивного растяжения клеток;

III – 100–110 мм от основания, соответствует зоне дифференцированных клеток.

У полученных фрагментов оценивают окраску.

Фрагменты I, II или III зон фиксируют в 70 % этаноле в пробирках типа Эппендорф. Каждая зона – в отдельной пробирке! Для быстрого проникновения фиксатора в ткани проводят вакуумную инфльтрацию. Для этого крышку плотно закрытой пробирки прокалывают шприцем на 2 мл с иглой, движением поршня шприца создают разреженную среду в пробирках. При правильно выполненном действии фрагменты тканей темнеют и становятся более прозрачными. Фиксацию проводят в течение 30–60 мин.

По окончании фиксации готовят солянокислые мацераты тканей. Для этого 10 однотипных фрагментов помещают в стеклянную пробирку, добавляют 1 мл 1N соляной кислоты, помещают на водяную баню на 15–30 мин при температуре 70–80 °С. Затем фрагменты осторожно мацерируют стеклянными палочками со шлифованным концом.

Каплю полученного мацерата помещают на предметное стекло, накрывают покровным стеклом, делают «давленный» препарат, осторожно постукивая по предметному стеклу палочкой. Препарат помещают под микроскоп. В полученном мацерате находят мезофильные клетки. Зарисовывают клетки разных зон. Используя окуляр-микрометр, отмечают их размеры, а также описывают форму клеток, считают количество пластид в них. Делают вывод об изменении, сопровождающих процесс развития клеток.

3. Действие ауксинов на рост растяжением

Ц е л ь р а б о т ы – изучить влияние синтетического ауксина 2,4 D на рост отрезков coleoptилей злаков.

Х о д р а б о т ы. В работе используют 3–4-дневные этилированные проростки ячменя одного размера. У проростков удаляют семя и корни, оставшийся побег представляет собой coleоптиль, внутри которого формируется первый лист. Отделенные coleоптили помещают на предметное стекло, лезвием бритвы отрезают верхушку – 3 мм. От границы среза отмеряют 5 мм и отрезают полученный фрагмент coleоптиля. Препаровальной иглой из фрагмента аккуратно удаляют находящийся внутри coleоптиля первый лист, помещают образец в чашку Петри с водой на 15–20 мин для вымывания эндогенных ауксинов. Полученный отрезок coleоптиля представлен клетками, перешедшими к растяжению.

Таким образом, готовят 25 coleоптилей, которые по 5 штук перекладывают в пробирки типа Эппендорф объемом до 2 мл, содержащих 100 мкл раствора ИУК или 2,4 D разной концентрации: 0,1; 1; 10, 100 мг/мл и дистиллированную воду в качестве контроля.

Пробирки инкубируют в термостате при температуре 24,0 °С. Период инкубации отрезков coleоптилей составляет не менее 2 ч. По окончании срока инкубации coleоптили извлекают из пробирок, измеряют их длину. Полученные результаты заносят в табл. 23.

На основании полученных результатов делают вывод о стимулирующем действии ауксинов.

Т а б л и ц а 23

Наименование показателя	Концентрация ауксина, мг/л				
	0 (дистиллированная вода)	0,1	1,0	10	100
Начальная длина coleoptilia, мм					
Конечная длина coleoptilia, мм					
Прирост, % от контроля					

Тестовые задания

1. Инициация цветения включает две фазы – _____ и _____.
2. Назовите основные экзогенные факторы цветения: _____, _____, _____.
3. Бикомпонентная природа флоригена включает _____ и _____.
4. Длиннодневные розеточные формы растений имеют избыток гормона _____ и недостаток _____.
5. Появление различий между клетками происходит в фазу:
 - а) эмбриональную;
 - б) растяжения;
 - в) дифференцировки;
 - г) на всех фазах.
6. Для фазы растяжения клетки не характерно:
 - а) образование центральной вакуоли;
 - б) увеличение содержания гидролаз в вакуоли;
 - в) увеличение интенсивности дыхания;
 - г) интенсивное поступление воды;
 - д) лигнификация клеточной стенки.

7. Причиной несбалансированного роста проростков в темноте является:

- а) отсутствие хлорофилла;
- б) нарушение водного обмена;
- в) недостаток минеральных элементов;
- г) недостаток ростстимулирующих гормонов;
- д) недостаток ингибиторов роста.

8. Этапы онтогенеза высших растений:

- а) эмбриональный, ювенильный, старости;
- б) эмбриональный, ювенильный, зрелости, старости;
- в) эмбриональный, покоя, зрелости и старости;
- г) покоя, зрелости, старости.

9. Гормон обеспечивающий старение и созревание плодов:

- а) ауксин;
- б) гиббереллин;
- в) этилен;
- г) АБК.

10. Растение обладает максимальной способностью к вегетативному размножению:

- а) на стадии покоя семян;
- б) на ювенильном этапе развития;
- в) на репродуктивном этапе развития;
- г) на этапе старости и отмирания.

11. Круговые или колебательные движения органов растений, имеющие эндогенный характер, называют:

- а) настями;
- б) нутациями;
- в) тропизмами;
- г) таксисами.

12. Перемещение всего организма в пространстве под влиянием односторонне действующих факторов называют:

- а) настями;
- б) нутациями;
- в) тропизмами;
- г) таксисами.

13. Физиологические ритмы растений с периодом около суток, имеющие эндогенную природу:

- а) цирканнуальные;
- б) сезонные;
- в) суточные;
- г) циркадные.

14. Активное вытягивание стеблей растений («бешеные всходы») индуцирует гормон:

- а) АБК;
- б) ауксин;
- в) гибберелин;
- г) этилен.

15. Факторы образования партенокарпических плодов:

- а) свет;
- б) усиление минерального питания;
- в) изменение температуры;
- г) обработка этиленом;
- д) обработка гиббереллинами.

16. Инактивация ИУК осуществляется за счет _____ , _____ .

17. Инактивация цитокининов происходит за счет _____ .

18. Для меристематических тканей характерна повышенная концентрация:

- а) ИУК;
- б) зеатина;
- в) GA_3 ;
- г) АБК;
- д) этилена.

19. Для покоящихся органов характерна повышенная концентрация:

- а) ИУК;
- б) зеатина;
- в) GA_3 ;
- г) АБК;
- д) этилена.

20. Рост пыльцевой трубки – это:
- а) геотропизм;
 - б) фототропизм;
 - в) хемотропизм;
 - г) хемонастия;
 - д) тигмонастия.
21. Тропизмы отличаются от настий:
- а) направлением движения;
 - б) скоростью движения;
 - в) природой внешнего воздействия, вызывающего движение;
 - г) характером действия фактора (направленное или диффузное);
 - д) обратимостью.
22. Стратификация:
- а) тормозит прорастание семян;
 - б) стимулирует прорастание семян;
 - в) стимулирует цветение растений;
 - г) продляет покой семян;
 - д) стимулирует старение растений.
23. Яровизационный стимул воспринимается:
- а) семядолями;
 - б) точкой роста;
 - в) листьями;
 - г) корнями;
 - д) стеблем.
24. Фитогормон, индуцирующий цветение длиннодневных растений на коротком дне:
- а) ауксин;
 - б) цитокинин;
 - в) гиббереллин;
 - г) этилен;
 - д) АБК.
25. Образование мужских цветков стимулируется:
- а) ИУК;
 - б) цитокинином;
 - в) гиббереллином;

- г) АБК;
- д) этиленом.

26. Образование женских цветков стимулируется:

- а) ИУК;
- б) цитокинином;
- в) гиббереллином;
- г) АБК;
- д) этиленом.

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ

1. Нарисуйте схему функционального взаимодействия клеточных компартментов. Укажите уровни такого взаимодействия.

2. Составьте и заполните таблицу сходства и различий ядерного, пластидного и митохондриального геномов.

3. Каковы особенности клеточных стенок меристематических, растягивающихся и дифференцированных клеток растений? В чем причины этих отличий?

4. Клетка погружена в раствор, осмотическое давление которого 12 атм. Куда пойдет вода, если известно, что тургорное давление клетки 4 атм, а осмотическое давление клеточного сока 15 атм.

5. Когда сосущая сила клетки равна 0: в состоянии плазмолиза или полного насыщения водой?

6. Как определить осмотическое давление клеток, используя их способность плазмолизировать?

7. В каком растворе будет наблюдаться более значительная степень плазмолиза: 5 % NaCl, 5 % глюкоза, 5 % сахараза? Почему?

8. Две живые растительные клетки соприкасаются друг с другом. Первая клетка имеет осмотическое давление 10 атм, тургорное – 5 атм, а вторая – 15 и 12 атм соответственно. Какая из клеток будет отдавать воду, а какая – всасывать?

9. Почему лист зеленый? Какие части солнечного спектра и при участии каких фотосенсибилизаторов используются при фотосинтезе?

10. Почему в молодых не полностью дифференцированных клетках мезофилла преобладают альтернативные пути фотосинтетического метаболизма углерода?

11. Проведите сравнение ферментов РубФК и ФЕПК.

12. Найдите черты сходства и различия в поглощении углекислоты C-4 и САМ растениями.

13. В чем причины крахмального ингибирования фотосинтеза?
14. Найдите отличия структурно-функциональной организации фотосинтетического аппарата светолюбивых и теневыносливых растений.
15. Какие изменения в структуре фотосинтетического аппарата и его функционировании могут быть вызваны длительной и кратковременной засухой?
16. Что такое дыхательный коэффициент (ДК)? Рассчитать, чему равен ДК при полном окислении глюкозы, малата, пальмитиновой кислоты?
17. Как соотносятся между собой дыхание роста и дыхание поддержания в разные периоды онтогенеза?
18. Рассчитайте энергетическую эффективность пентозофосфатного окислительного пути, гликолиза и цикла Кребса.
19. Растениям свойственно цианидрезистентное дыхание. Чем это обусловлено?
20. При одинаковой температуре окружающей среды и одинаковом водоснабжении интенсивность транспирации растения на свету и в темноте неодинакова. Почему?
21. Укажите основные особенности физиологии гидрофитов.
22. Укажите путь превращения липидов в углеводы в процессе прорастания семян масличных растений. Запишите последовательность реакций.
23. Какие абиотические факторы способны регулировать интенсивность кутикулярной транспирации?
24. Как изменяет состояние устьиц накопление в замыкающих клетках ассимилятов, АБК и калия? Каковы механизмы действия этих факторов в регуляции устьичных движений.
25. Опишите графически рост первого листа пшеницы, используя следующие данные (табл. 24):

Т а б л и ц а 24

Возраст, дни	1	2	3	5	7	9	12	15
Площадь листа, см ²	0,3	0,5	0,8	1,5	2,9	3,5	3,6	3,6

26. Используя данные табл. 24, рассчитайте абсолютную и относительную скорость роста листа.

27. Каковы пути и механизмы транспорта фитогормонов в растении?

28. Как объяснить, что хвоя сосны, выдерживающая зимой морозы до -40°C , летом гибнет при искусственном охлаждении до -8°C ?

29. Приведите классификацию и соответствующие примеры ростовых корреляций у растений.

30. Какие из солей азота следует вносить в кислые почвы? Почему?

31. В каких случаях следует отдать предпочтение внекорневой подкормке минеральными элементами по сравнению с внесением в почву? Почему?

32. Укажите основные направления современной биотехнологии на основе растительных клеток и тканей. Напишите последовательность операций при получении соматических гибридов растений.

33. Что такое трансгенные растения? Как их получают? Для чего?

34. Аллелопатия – один из видов взаимодействия растений в фитоценозе. Какие факторы и как обеспечивают эти взаимодействия?

35. Каково главное направление эволюции фотосинтеза? Чем вызваны такие эволюционные изменения?

36. Составьте схему эволюции биоэнергетических систем.

37. Для чего растению такие вторичные метаболиты, как алкалоиды, флавоноиды и терпеноиды?

38. Укажите причины ухудшения роста растений на промышленных отвалах.

39. Как адаптируется растение к засолению на физиологическом и биохимическом уровне?

40. Что обеспечивает целостность растительного организма?

ГЛОССАРИЙ

Абсцизовая кислота (АБК) – природный фитогормон терпеноидной природы. Под действием АБК задерживаются прорастание семян, распускание почек. АБК вызывает закрытие устьиц, опадение черешков, листьев, завязей и плодов.

Автономное развитие – развитие растительного организма, происходящее под влиянием внутренних факторов, возникающих в ходе онтогенеза в самом развивающемся растении и не требующее специальных внешних индуцирующих влияний.

Адаптация – совокупность морфологических, физиологических и биохимических наследственных приспособительных реакций растений, поддерживающих их устойчивость к различным условиям внешней среды на всем протяжении онтогенеза и обеспечивающих возможность существования отдельных индивидуумов и сохранения вида в определенных экологических условиях, в том числе неблагоприятных для данного вида.

Азотфиксация – перевод атмосферного азота в биологически доступную форму с помощью азотфиксирующих микроорганизмов.

Аквапорины – водные каналы, образованные мембранными белками аквапоринами, которые обеспечивают трансмембранное движение воды.

Акклиматизация – приспособление растений к изменившимся условиям окружающей среды при выращивании в непривычных климатических условиях.

Аклимация – ненаследственные ответные реакции растений, которые затрагивают изменения в экспрессии генов, метаболизме, физиологических функциях и позволяют приспосабливаться к стрессовым условиям.

Активный транспорт – энергозависимый транспорт растворенного вещества или иона через биологическую мембрану про-

тив градиента концентрации (в случае неэлектролита) или против градиента электрохимического потенциала (в случае ионов).

Активные формы кислорода (АФК) – формы кислорода с чрезвычайно высокой реакционной способностью, которые могут окислять практически все классы биологических молекул – белки, липиды мембран, молекулы ДНК и т. д. К АФК относят синглетный кислород ($^1\text{O}_2$), супероксид анион радикал ($\text{O}_2^{\cdot-}$), гидропероксидный радикал (HO_2^{\cdot}), пероксид водорода (H_2O_2), гидроксильный радикал (HO^{\cdot}), в некоторых случаях озон (O_3).

Алкалоиды – азотсодержащие циклические соединения, синтезируемые растениями и являющиеся вторичными метаболитами.

Аллелопатия – взаимное влияние растений различных видов, а также высших растений и микроорганизмов, осуществляющееся через выделяемые продукты метаболизма.

Аноксия – отсутствие кислорода в среде.

Антиоксиданты – соединения, способные тормозить, уменьшать интенсивность свободнорадикального окисления, нейтрализовать свободные радикалы путем обмена своего атома водорода (в большинстве случаев) на кислород свободных радикалов.

Апекс – верхушечная часть стебля или корня, включающая меристему с активно делящимися клетками. Структура апекса содержит зоны с разной интенсивностью и направленностью клеточного деления.

Ауксины – фитогормоны, активирующие растяжение клеток, рост отрезков coleoptилей, стеблей и корней, вызывающие тропические изгибы, а также стимулирующие образование корней у черенков растений. Природный ауксин – индолилуксусная кислота (ИУК), имеет индольную природу.

Аэробное дыхание – тип энергетического метаболизма, при котором осуществляется фосфорилирование в дыхательной цепи, в качестве терминального акцептора электронов (и протонов) организмы используют молекулярный кислород.

Биологические часы – совокупность внутренних процессов, обеспечивающих у растений биологическое измерение времени.

Центральную роль в биологическом хронометрировании отводят внутренней суточной ритмичности процессов жизнедеятельности (эндогенные циркадные ритмы) в сочетании с ритмами колебаний внешних факторов.

Большая кривая роста – кривая, описывающая ростовой процесс, т. е. прирост длины, объема и веса клетки, ткани, органа, целого организма или популяции. Кривая носит S-образный характер. Различают отдельные участки: лаг-фазу (начальную), фазу ускорения роста (лог-фазу, или логарифмическую), фазу замедления и стационарную фазу.

Брожение – анаэробный метаболический процесс разложения органических соединений на более простые, при котором АТФ образуется за счет субстратного фосфорилирования, а продуктами расщепления субстрата могут выступать как доноры, так и акцепторы атомов водорода.

Воски – сложные эфиры высших жирных кислот и одноатомных спиртов с длинной углеводородной цепью.

Вторичные медиаторы (вторичные мессенджеры) – вещества, образующиеся под действием эффекторного фермента и обеспечивающие перенос сигнала к конечному пункту назначения в клетке.

Газоустойчивость – способность растений противостоять действию газов, сохраняя нормальный рост и развитие.

Галотолерантность (солеустойчивость) – устойчивость растений к повышенным концентрациям солей в почве или воде.

Галофиты – растения, толерантные к засолению.

Генотип – комплекс всех генов организма, содержащий его полную наследственную информацию. В состав генотипа входит совокупность генов, полученных растением от его родителей, а в случае мутаций – также и новые мутантные гены, которых не было у родителей.

Гиббереллины – фитогормоны, преимущественно производные флуороенового ряда: гибберелловая кислота и другие гиббе-

реллины, индуцирующие или активирующие рост стеблей растений, вызывающие прорастание семян и образование партенокарпических плодов, нарушающие период покоя у многих растений, а также индуцирующие цветение растений длиннодневных видов.

Гигрофиты – наземные растения, обитающие в районах с большим количеством осадков и высокой влажностью воздуха. Гигрофитам близки гелофиты – растения болот, берегов водоемов.

Гидрофиты – водные растения с листьями, частично или полностью погруженными в воду или плавающими.

Гипоксия – временный дефицит кислорода в среде.

Гликофиты – растения незасоленных местообитаний.

Гомойогидрические растения – растения, способные активно регулировать свой водный обмен.

Градиенты у растений – постепенное количественное изменение морфологических, биохимических или функциональных свойств вдоль одной из осей тела растения или его органа. Различают градиенты физиологические, структурные, концентрационные, электрофизиологические, давления, газообмена и др.

Детерминация развития – приобретение клеткой, тканью, органом или организмом состояния готовности к развитию по определенному пути, сопровождающееся одновременным ограничением возможностей развития в других направлениях. В период детерминации создаются необходимые внутренние условия для последующей морфологической реализации нового направления развития.

Дифференциация – возникновение функциональных и структурных отличий у различных клеток и тканей в процессе развития растений.

Дыхательный коэффициент – отношение количества выделенного углекислого газа к количеству поглощенного кислорода.

Жизненные формы – морфологические типы растений, являющиеся отражением их эволюционной истории и адаптации к определенным условиям существования. Основными жизненными формами цветковых растений являются деревья, кустарники и травы.

Засуха – неблагоприятное сочетание метеорологических условий, при которых растения испытывают водный дефицит. Различают атмосферную и почвенную засуху.

Засухоустойчивость – способность растений в течение онтогенеза переносить засуху и осуществлять в этих условиях рост и развитие благодаря наличию ряда приспособительных свойств.

Изменчивость – общебиологическое свойство живых систем, способность приобретать новые признаки. Различают генотипическую и фенотипическую изменчивость.

Изменчивость генотипическая – изменчивость, вызванная изменениями генных и хромосомных структур, мутациями, или же возникающая в результате новой комбинации родительских генов в дочернем организме.

Изменчивость фенотипическая – модификационная изменчивость проявления генов при реализации наследственной информации в разных внешних условиях.

Индукция развития – влияние внешних факторов или одной части растения на другую, приводящее к детерминации развития организма, органа или ткани.

Индукцированное развитие – развитие растительного организма, происходящее на основе внутренних изменений самого развивающегося растения и нуждающееся в индуцирующем влиянии определенных условий внешней среды. Характеризуется первоначальной зависимостью и последующей независимостью от вызвавшего его воздействия (индуктора).

Интенсивность дыхания – количество поглощенного кислорода или выделившегося углекислого газа за единицу времени (1 ч) на единицу массы (г).

Компетентность – способность клетки, ткани, органа, организма воспринимать индуцирующее воздействие и специфически реагировать на него изменением развития.

Ксантофилл – желтый пигмент группы каротиноидов.

Ксенобиотики – чужеродные для организмов соединения (промышленные загрязнения, пестициды, тяжелые металлы, органические загрязнители, газы и т. д.), не входящие в естественный биологический круговорот.

Ксерофиты – растения засушливых мест, пустынь, саванн, степей, где воды в почве мало, а воздух сухой и горячий.

Лектины – гликопротеины, состоящие из четырех и более идентичных мономеров и имеющие точки специфического связывания с олигосахаридными участками гликопротеинов клеточных мембран, что определяет участие лектинов в узнавании чужих клеток и, следовательно, в регуляции метаболизма.

Листовая мозаика – взаимное расположение листьев, благодаря которому они не затеняют друг друга. Особенно отчетливо проявляется у теневыносливых растений и представляет собой адаптацию к условиям пониженной освещенности.

Мезофиты – растения, обитающие в условиях умеренной влажности.

Морозоустойчивость – способность растений переносить действие низких отрицательных температур.

Морфогенез – процесс формирования, т. е. заложения, рост и развитие органов (органогенез), тканей (гистогенез) и клеток (цитогенез или клеточная дифференцировка) у растений.

Наследственность – обусловленное генотипом свойство растений сохранять и передавать потомству свои признаки и особенности своего развития. Наследственность обеспечивает материальную преемственность между поколениями организмов.

Настии – ненаправленные движения органов относительно оси неподвижно прикрепленных растений в ответ на смену диффузно действующих внешних факторов.

Низкотемпературный стресс – совокупность ответных реакций растений на действие низких положительных или отрицательных температур, проявляющихся на разных уровнях организации растительного организма от молекулярного до организменного.

Норма реакции – наследственно обусловленная амплитуда возможных изменений в реализации генотипа, которая определяет число и характер возможных вариантов фенотипа, или модификаций, при различных условиях внешней среды.

Озимость – свойство растений отвечать ускорением развития на воздействие определенного периода пониженных температур. Озимость резко выражена у озимых форм, не цветущих или сильно задерживающих развитие без яровизации, и отсутствует у яровых форм.

Онтогенез (индивидуальное развитие) растений – комплекс последовательных и необратимых изменений жизнедеятельности и структуры растения от его возникновения из оплодотворенной яйцеклетки или вегетативной почки и до естественной смерти. Онтогенез является последовательной реализацией наследственной программы развития организма в конкретных условиях внешней среды.

Осмоз – диффузия воды через полупроницаемую мембрану из раствора с низкой концентрацией растворенного вещества в раствор с высокой концентрацией растворенного вещества.

Паразитизм у растений – питание высших растений за счет других живых растений. Паразитические высшие растения вредят растению-хозяину главным образом путем потребления его ассимилятов.

Пассивный транспорт – транспорт веществ через мембрану без затраты энергии, по градиенту электрохимического потенциала.

Пестициды – химические средства, используемые для борьбы с вредителями и болезнями растений, сорняками, вредителями зерна и зернопродуктов, древесины, изделий из хлопка, шерсти, кожи, с эктопаразитами домашних животных, а также с переносчиками опасных заболеваний человека и животных.

Пластохрон – временной промежуток, отделяющий заложение двух смежных листьев в конусе нарастания стебля. Индекс пластохрона – показатель возраста всего растения, выраженный в единицах пластохрона.

Пневматофоры (дыхательные корни) – корни, имеющиеся у некоторых растений, которые растут вертикально вверх и поднимаются над поверхностью почвы.

Пойкилогидрические растения – растения, водный обмен которых определяется содержанием воды в окружающей среде. При засухе они пассивно теряют воду.

Покой – состояние семян, почек или отдельных органов целого растения, во время которого у них прекращается видимый рост, но сохраняются скрытые процессы структурообразования. Различают несколько типов покоя, среди них основными являются глубокий покой, вызванный внутренними причинами, и вынужденный, обусловленный неблагоприятными факторами внешней среды.

Полярность – явление специфической ориентации процессов и структур в пространстве, приводящее к возникновению морфофизиологических градиентов и выражающееся в различии свойств на противоположных концах или сторонах клеток, тканей, органов и всего растения.

Протекторы фитогормонов – эндогенные соединения, предотвращающие разрушение или иммобилизацию фитогормонов. К протекторам относят некоторые фенольные соединения; фенолкарбоновые кислоты (кофейная, феруловая, синаповая), защищающие ауксины типа β -индолилуксусной кислоты от разрушения.

Развитие – качественные изменения структуры и функций растения и его отдельных частей (органов, тканей и клеток), возникающие в процессе онтогенеза.

Реакция сверхчувствительности – быстрая локальная гибель инфицированных растительных клеток вместе с патогеном, что в конечном счете обеспечивает устойчивость всего растения.

Регуляторы роста и развития – органические соединения, вызывающие стимуляцию или ингибирование процессов роста и развития растений. Регуляторами роста и развития являются как природные вещества, так и синтетические препараты, применяемые при обработке сельскохозяйственных культур.

Регуляция развития – направленное изменение скорости или характера процессов развития, вызываемое внутренними или внешними причинами.

Ритмичность роста – чередование процессов интенсивного и замедленного роста, обеспечивающее периодичность протекания этого процесса.

Рост – необратимое увеличение размеров, массы, числа элементов растения, связанное с новообразованием элементов структуры организма. Рост растения складывается из роста клеток, тканей и органов.

Ростовые вещества – фитогормоны, стимулирующие рост растений: ауксины, гиббереллины, цитокинины, а также природные вещества негормональной природы, стимулирующие рост растений: некоторые фенолы, производные мочевины, витамины и другие вещества.

Светособирающий комплекс (ССК) – молекулы фотосинтетических пигментов, поглощающие свет и переносящие энергию возбуждения на молекулы хлорофилла реакционного центра фотосистемы.

Симпорт – сопряженный перенос через мембрану двух веществ в одном направлении.

Синергисты фитогормонов – вещества, самостоятельно в регуляции роста не участвующие, активирующие функции фитогормонов. К числу синергистов относят витамины и некоторые фенольные протекторы.

Системы надежности – это разнообразные по природе системы клетки, ткани, органа, организма и вида, которые предотвращают возникновение отказов, ликвидируют отказы, блокируют развитие их последствий и контролируют точность регуляторных механизмов.

Скарификация – прием, ускоряющий прорастание твердых семян, состоящий в нанесении царапин на семенную кожуру без повреждения зародыша путем перетирания семян с песком или тол-

ченным стеклом. Скарификация улучшает доступ внутрь семени воды и воздуха, необходимых для прорастания.

Стратификация – прием, ускоряющий развитие семян и полученных проростков, состоящий в предварительном выдерживании семян при низкой положительной температуре на влажном субстрате. Стратификация вызывает завершение развития семян, разрыхление их твердых покровов и последующее дружное прорастание.

Стресс у растения (фитостресс) – это интегральный ответ растительного организма на повреждающее действие, направленный на его выживание за счет мобилизации и формирования защитных систем.

Стрессор (стрессовый фактор) – сильно действующий фактор внешней среды, способный вызвать в организме повреждение или даже привести к гибели.

Таксисы – направленные движения всего организма, обусловленные односторонним влиянием внешних раздражителей, силы тяжести, света, химического воздействия и др. Характерны для одноклеточных водорослей.

Тепловой шок – термоинаktivация ферментов у растений, происходящая при действии очень высокой температуры.

Термопериодизм – реакция растений на периодическую смену повышенных и пониженных температур, выражающаяся в изменении процессов роста и развития и связанная с приспособлением онтогенеза к изменениям внешних условий. Различают суточный и сезонный термопериодизм.

Тигмотропизм – ростовые изгибы в ответ на механическое раздражение тканей.

Тропизмы – ориентированные движения органов неподвижно прикрепленных растений в ответ на одностороннее действие внешних факторов (свет, сила тяжести и др.). Тропизмы являются результатом более быстрого роста клеток на одной стороне побега, корня или листа.

Тургор – состояние внутреннего напряжения клетки, обусловленное высоким содержанием воды и развивающимся давлением содержимого клетки на ее оболочку.

Тяжелые металлы – химические элементы, имеющие плотность более 5 г/см³.

Убиквитины – низкомолекулярные (8,5 кД) высококонсервативные белки, экспрессия генов которых индуцируется стрессорами. Присоединяясь к N-концу денатурированного белка, они делают белок доступным для действия протеаз.

Убихинон (коэнзим Q) – фенольное соединение с изопреноидной боковой цепочкой, локализованное преимущественно в мембранах митохондрий и принимающее участие в транспорте электронов по дыхательной цепи на участке между флавиновыми ферментами и цитохромами. Обладает антиоксидантными свойствами: является ингибитором радикалов фенольного типа, непосредственно реагирует с перекисными радикалами, уменьшает их концентрацию, стабилизирует мембрану.

Устойчивость растений (стресс-толерантность) – это способность растений сохранять постоянство внутренней среды (гомеостаз) и осуществлять жизненный цикл в условиях действия стрессоров.

Фенотип – весь комплекс внешних и внутренних признаков и свойств организма, проявляющийся в течение его онтогенеза. Фенотип является результатом реализации генотипа в определенных условиях внешней среды.

Филогенез растений – процесс эволюционного развития растительных организмов, принадлежащих к определенному таксону. Филогенез складывается из исторической последовательности родственных онтогенезов, прошедших контроль естественного отбора.

Фитоалексины – низкомолекулярные вещества, которые практически отсутствуют в здоровых тканях высших растений и образуются в ответ на контакт с фитопатогенами (индуцируются элиситерами); при быстром достижении антимикробных концентраций

фитоалексины выполняют свою основную биологическую функцию – отражение атаки чужеродного антигена.

Фитогормоны – вещества, образующиеся в малых количествах в одних органах растения, обычно транспортирующиеся в другие органы и оказывающие регуляторное действие на какие-либо физиологические процессы.

Фиторемедиация – технология очистки окружающей среды с помощью растений и ассоциированных с ними микроорганизмов.

Фитохром – хромопротеин, обратимые превращения которого лежат в основе многих реакций фотоморфогенеза.

Флавоноиды – водорастворимые фенольные соединения, в основе структуры которых лежит флаван, состоящий из двух ароматических колец А и В, соединенных через кислородсодержащую C_3 -единицу.

Флориген – комплекс гормонов цветения, образующихся в растениях в результате возрастных изменений или под влиянием факторов внешней среды (фотопериодическая индукция и др.) и вызывающих инициацию формирования генеративных органов. В соответствии с гормональной теорией цветения М. Х. Чайлахяна в гормональный комплекс флоригена входят гиббереллины и гипотетические антезины. В настоящее время функцию флоригена приписывают белку FT.

Фотодыхание – активируемый светом и высокой температурой процесс поглощения кислорода и высвобождения углекислого газа, сопряженный с фотосинтезом. При фотодыхании осуществляется оксигеназная функция фермента РУБИСКО. Метаболическая основа процесса – гликолатный путь. Этапы фотодыхания осуществляются при взаимодействии хлоропластов, пероксисом и митохондрий клетки.

Фотоморфогенез – морфогенетические изменения растений, возникающие в результате воздействия света разного качества, интенсивности и длительности.

Фотосинтез – процесс образования органического вещества из неорганических веществ – углекислого газа и воды, осуществ-

ляющийся на свету, при участии пигментного аппарата. Характерен для растений и некоторых микроорганизмов.

Фотосинтетически активная радиация (ФАР) – участок видимого диапазона солнечного спектра, поглощаемый пигментами хлоропластов (400–700 нм).

Фотосинтетическое фосфорилирование – синтез АТФ за счет энергии света при участии фотосинтетической электронтранспортной цепи.

Фотосистема – совокупность молекул фотосинтетических пигментов совместно с определенными белками – переносчиками электронов.

Хлорофиллы – зеленые пигменты растений и ряда фототрофных микроорганизмов, с помощью которых они улавливают энергию солнечного света и осуществляют фотосинтез. Основу составляют магний-порфириновый комплекс и ряд заместителей.

Холодоустойчивость – способность теплолюбивых растений переносить действие низких положительных температур.

Цикл Кребса – аэробная фаза дыхания, в процессе которой происходит окисление ацетильного радикала ацетилкоэнзима А до углекислого газа и атомов водорода.

Цитокинины – фитогормоны, производные пуринов, активизирующие деление клеток и прорастание семян, а также способствующие заложению почек у целых растений и в культуре изолированных растительных тканей. Природные цитокинины – зеатин, зеатин рибозид и дигидрозеатин. Синтетические цитокинины – БАП и кинетин.

Цитохромы – сложные белки (гемопротеины), осуществляющие в клетках ступенчатый перенос электронов (водорода) посредством обратимого изменения валентности атома железа в геме. Участвуют в окислительно-восстановительных реакциях, в том числе в электронтранспортных цепях на мембранах хлоропластов и митохондрий.

Шапероны – белки, которые связывают полипептиды во время их сворачивания, т. е. при формировании третичной структуры,

и сборки белковой молекулы из субъединиц, т. е. при формировании четвертичной структуры. Взаимодействуя с полипептидами, шапероны предотвращают ошибки в сворачивании и сборке и этим препятствуют агрегации полипептидных цепей.

Эджасмент (осмотическое регулирование) – увеличение концентрации осмотически активных соединений без изменения объема клеток и падения тургора.

Элиситеры – поверхностные или выделяющиеся паразитом (патогеном) вещества, которые первыми соприкасаются с поверхностью растения. Эти вещества сигнализируют растению о необходимости включения системы защиты. Элиситерами могут быть соединения хитина, хитозана, глюканов, гликопротеинов, липополисахаридов, липогликопротеинов, пектинов и другие вещества, в том числе продукты их гидролиза.

Этилен – гормон растений, газ, оказывающий преимущественно ингибиторное действие на ростовые процессы – опадение листьев, изгибы черешков, торможение роста проростков. Этилен обладает эффектом, тормозящим действие ауксинов, гиббереллинов и цитокининов. Под влиянием этилена происходит ускоренное созревание плодов, при этом снижается уровень свободных ауксинов и цитокининов.

Яровизация – ускоренное развитие озимых форм однолетних и двулетних растений при предварительном воздействии на них в течение определенного периода низких положительных температур.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

О с н о в н а я

Гавриленко В. Ф. Большой практикум по фотосинтезу / В. Ф. Гавриленко, Т. В. Жигалова. – М. : Академия, 2006. – 256 с.

Кузнецов В. В. Физиология растений : в 2 т. / В. В. Кузнецов, Г. А. Дмитриева. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во «Юрайт», 2016. – Т. 1. – 437 с.

Кузнецов В. В. Физиология растений : в 2 т. / В. В. Кузнецов, Г. А. Дмитриева. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во «Юрайт», 2016. – Т. 2. – 459 с.

Кузнецов В. В. Физиология растений : учеб. для вузов / В. В. Кузнецов, Г. А. Дмитриева. – М. : Абрис, 2011. – 784 с.

Медведев С. С. Физиология растений / С. С. Медведев. – СПб. : БХВ-Петербург, 2012. – 512 с.

Практикум по физиологии растений / Н. Н. Третьяков, Л. А. Паничкин, М. Н. Кондратьев и др. – М. : Колос, 2003. – 288 с.

Физиология растений : учеб. для вузов / под ред. И. П. Ермакова. – М. : Академия, 2007. – 640 с.

Д о п о л н и т е л ь н а я

Гэлстон А. Жизнь зеленого растения / А. Гэлстон, П. Дэвис, Р. Сэттер. – М. : Мир, 1983. – 549 с.

Измайлов С. Ф. Азотный обмен в растениях / С. Ф. Измайлов. – М. : Наука, 1986. – 320 с.

Кларксон Д. Транспорт ионов и структура растительной клетки / Д. Кларксон. – М. : Мир, 1978. – 368 с.

Курсанов А. Л. Транспорт ассимилятов в растениях / А. Л. Курсанов. – М. : Наука, 1976. – 646 с.

Курсанов А. Л. Ученый и аудитория / А. Л. Курсанов. – М. : Наука, 1982. – 272 с.

Лархер В. Экология растений / В. Лархер. – М. : Мир, 1978. – 384 с.

Либберт Э. Физиология растений / Э. Либберт. – М. : Мир, 1976. – 580 с.

Люттге У. Передвижение веществ в растениях / У. Люттге, Н. Хингботам. – М. : Колос, 1984. – 408 с.

Маргелис Л. Роль симбиоза в эволюции клетки / Л. Маргелис. – М. : Мир, 1983. – 351 с.

Мокроносов А. Т. Фотосинтез: физиолого-экологические и биохимические аспекты / А. Т. Мокроносов, В. Ф. Гавриленко. – М. : МГУ, 1992. – 319 с.

Полевой В. В. Фитогормоны / В. В. Полевой. – Л. : ЛГУ, 1982. – 249 с.

Полевой В. В. Физиология растений : учеб. для вузов / В. В. Полевой. – М. : Высш. шк., 1989. – 464 с.

Полевой В. В. Физиология роста и развития растений / В. В. Полевой, Т. С. Саламатова. – Л. : ЛГУ, 1991. – 240 с.

Практикум по физиологии растений / под ред. проф. И. И. Гунара. – М. : Колос, 1972. – 167 с.

Практикум по физиологии растений : учеб. пособие / В. Б. Иванов, И. В. Плотникова, Е. А. Живухина и др. ; под ред. В. Б. Иванова. – М. : Издат. центр «Академия», 2004. – 144 с.

Саламатова Т. С. Физиология растительной клетки / Т. С. Саламатова. – Л. : ЛГУ, 1983. – 231 с.

Саламатова Т. С. Физиология выделения веществ растениями / Т. С. Саламатова, О. А. Зауралов. – Л. : ЛГУ, 1991. – 152 с.

Скулачев В. П. Энергетика биологических мембран / В. П. Скулачев. – М. : Наука, 1989. – 564 с.

Уоринг Ф. Рост растений и дифференцировка / Ф. Уоринг, И. Филлипс. – М. : Мир, 1984. – 512 с.

Фотосинтез : в 2 т. / под ред. Говинджи. – М. : Мир, 1987. – Т. 1. – 728 с. ; Т. 2. – 460 с.

Фотосинтез и биопродуктивность: методы определения / под ред. А. Т. Мокроносова. – М. : Агропромиздат, 1989. – 460 с.

Эдвардс Дж. Фотосинтез C-3 и C-4 растений: механизмы и регуляция / Дж. Эдвардс, Д. Уокер. – М. : Мир, 1986. – 590 с.

Способы выражения концентрации растворов

Раствор – однофазная гомогенная система, состоящая из двух и более компонентов и продуктов их взаимодействия. Концентрацией раствора называют содержание растворенного вещества в определенном массовом или объемном количестве раствора или растворителя.

Существуют различные способы численного выражения концентрации растворов: массовая доля растворенного вещества, молярная доля, моляльная, молярная, нормальная концентрации, титр и др.

Массовая доля растворенного вещества – физическая величина, равная отношению массы растворенного вещества к общей массе раствора. Например: массовая доля растворенного вещества серной кислоты равна 5 % или 0,05. Это означает, что в растворе серной кислоты массой 100 г содержится серная кислота массой 5 г и вода массой 95 г.

Молярная концентрация раствора – физическая величина, равная отношению количества растворенного вещества к объему раствора. Молярная концентрация означает число молей (ν) растворенного вещества, выраженного в г, содержащегося в 1 л раствора.

Раствор, в 1 л которого содержится 1 моль растворенного вещества, называется **молярным** (одномолярным). Если в 1 л содержится 0,1 моль растворенного вещества, раствор называется **децимолярным**, если 0,01 моль растворенного вещества – **сантимолярным**.

Нормальная концентрация (молярная концентрация эквивалента) – физическая величина, равная отношению количества вещества эквивалента в растворе к объему раствора или, по-другому, число эквивалентов растворенного вещества, выраженного в г, содержащегося в 1 л раствора.

Раствор, 1 л которого содержит 1 моль эквивалента растворенного вещества, называется **нормальным**.

Молярная масса эквивалента (эквивалентная масса) кислоты, основания, соли, окислителя, восстановителя – величина не постоянная, а зависит от условий протекания реакций.

Титр – концентрация раствора, т. е. содержание растворенного вещества в 1 мл раствора. Например: $T(\text{HCl}) = 0,03647$ г/мл, это означает, что в 1 мл этого раствора содержится 0,03647 г соляной кислоты.

В случае приготовления растворов путем разбавления более концентрированных растворов следует помнить, что в результате разбавления меняется масса раствора только за счет увеличения количества (массы) растворителя, а масса растворенного вещества остается неизменной, т. е.

$$m(\text{вещества})_{\text{в разбавленном растворе}} = m(\text{вещества})_{\text{в концентрированном растворе}}.$$

Выражая массу растворенного вещества через исходную и конечную концентрации, приравняв их, определяем требуемую величину.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
1. Физиология растительной клетки	5
Лабораторная работа 1	7
Лабораторная работа 2	12
Лабораторная работа 3	15
Тестовые задания	19
2. Устойчивость растительных клеток и тканей к неблагоприятным факторам среды	24
Лабораторная работа 4	25
Тестовые задания	30
3. Фотосинтез	35
Лабораторная работа 5	37
Лабораторная работа 6	39
Лабораторная работа 7	42
Тестовые задания	44
4. Дыхание растений	49
Лабораторная работа 8	50
Тестовые задания	54
5. Корневое питание растений	58
Лабораторная работа 9	59
Тестовые задания	64
6. Превращение запасных органических веществ в растении	70
Лабораторная работа 10	71
Тестовые задания	75
7. Транспирация и водообмен растений	78
Лабораторная работа 11	79
Тестовые задания	83
8. Рост и развитие растений	87
Лабораторная работа 12	90
Тестовые задания	93
Контрольные задания для самопроверки знаний	98
Глоссарий	101
Список рекомендуемой литературы	115
<i>Приложение</i>	<i>117</i>

Учебное издание

Киселева Ирина Сергеевна
Малева Мария Георгиевна
Борисова Галина Григорьевна
Чукина Надежда Владимировна
Тугбаева Анастасия Сергеевна

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Учебно-методическое пособие

Заведующий редакцией *М. А. Овечкина*
Редактор *Т. А. Федорова*
Корректор *Т. А. Федорова*
Компьютерная верстка *Г. Б. Головина*
Компьютерный набор *А. С. Тугбаева*

Подписано в печать 10.09.18. Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Цифровая печать.

Уч.-изд. л. 5,5. Усл. печ. л. 6,98. Тираж 50 экз. Заказ 175.

Издательство Уральского университета.
Редакционно-издательский отдел ИПЦ УрФУ
620083, Екатеринбург, ул. Тургенева, 4.
Тел.: +7 (343) 389-94-79, 350-43-28
E-mail: rio.marina.ovechkina@mail.ru

Отпечатано в Издательско-полиграфическом центре УрФУ
620083, Екатеринбург, ул. Тургенева, 4.
Тел.: +7 (343) 358-93-06, 350-58-20, 350-90-13
Факс +7 (343) 358-93-06
<http://print.urfu.ru>

